

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

**Zefektivnění technologie obrábění těsnicích drážek v těžko
obrobitelných materiálech**

Streamline the Machining Technology of Sealing Grooves in
Difficult to Machined Materials

Student:

Bc. Petr Stibor

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.

Ostrava 2016

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Petr Stibor

Studijní program:

N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor:

2303T002 Strojírenská technologie

Specializace:

20 Strojírenská technologie

Téma:

Zefektivnění technologie obrábění těsnících drážek v těžko-
obrobitelných materiálech
Streamline the Machining Technology of Sealing Grooves in Difficult to
Machined Materials

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod.
2. Teoretický rozbor daného problému.
3. Návrh řešení dané problematiky.
4. Technicko-ekonomické zhodnocení.
5. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] KOCMAN, K.; PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 1. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, s. r. o., 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
- [2] VASILKO, K.; NOVÁK-MARCINČIN, J.; HAVRILA, M. *Výrobné inžinierstvo*. Prešov : Datapress Prešov. 2003, 424 s. ISBN 80-7099-995-0.
- [3] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. Žilina : EDIS Žilina, 2007. s. 343. ISBN 978-80-8070-711-8.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.**

Konzultant diplomové práce: Ing. Oldřich Knotek

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016

doc. Ing.et Ing.Mgr. Jana Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty



Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 16. 5. 2016

.....

Bc. Petr Stibor

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB – TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB - TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách, ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby).

V Ostravě: 16. 5. 2016


.....
Podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Petr Stibor

Adresa trvalého pobytu autora práce:

**Hulvácká 3
700 30 Ostrava**

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Stibor, P. Zefektivnění technologie obrábění těsnících drážek v těžko - obrobitelných materiálech: *Diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2016, 64 s. Vedoucí práce: Kratochvíl, J.

Diplomová práce se zabývá opracováním BX drážek před návarem a po navaření Inconelem 625. Testovalo se vyvrtávání stavitelným nástrojem CoroBore XL pro metodu SpiroGrooving pro čelní zapichování pro výrobu zařízení pro ropný a plynárenský průmysl nerotačních součástí. Cílem práce je teoretický rozbor a návrh progresivnější technologie opracování.

Výsledkem této práce je zhodnocení a porovnání dosažených výsledků nové technologie a současné. V závěru se obě metody porovnají a navrhne se řešení méně finančně nákladné.

ANNOTATION OF A MASTER THESIS

Stibor, P. Streamline the Machining Technology of Sealing Grooves in Difficult to Machined Materials: *Thesis*. Ostrava: VSB - Technical University of Ostrava, Faculty of Engineering, Department of Machining, Assembly and Engineering Metrology, 2016, 64 p. Supervisor: Kratochvíl, J.

The thesis deals with working BX groove weld before and after welding Inconel 625. We tested adjustable boring tool CoroBore XL for SpiroGrooving method for face grooving machines for the oil and gas industry non-rotating parts. The aim of this work is theoretical analysis and design of progressive machining technology.

The result of this work is to evaluate and compare the achievements of new technology and contemporary. In the end, both methods are compared and propose a solution less costly.

Obsah

Seznam značek a symbolů	8
Úvod.....	10
Historie firmy.....	11
1. Obrábění těžko – obrobitelného materiálu	12
1.1 Slitina Inconel 625	12
1.2 Popis stávající technologie a problematiky opracování těsnících drážek	14
1.3 Současný stav opracování BX drážky v návaru Inconel 625	21
2. Popis technologie SpiroGrooving	24
3. Návrh obrábění BX drážek metodou SpiroGrooving.....	28
3.1 Zkoušky nástroje CoroBore XL pro metodu SpiroGrooving před návarem.....	28
3.1.1 Zkouška za použití VBD VBMT160408 – PF 4325.....	31
3.1.2 Zkouška za použití VBD VBMT 160408 – PM 4235	33
3.2 Zkoušky nástroje CoroBore XL pro metodu SpiroGrooving po návare Inconel 625	35
3.2.1 Zkouška za použití VBD VBMT 160408 – XM GC15	35
3.2.2 Zkouška za použití VBD VBMT 160408 – XM GC15	37
3.2.3 Zkouška za použití VBD VBMT 160408 – XM GC15	38
3.2.4 Zkouška za použití VBD VBGT 160408 – UM 1105	39
3.2.5 Zkouška za použití VBD VBMT 160408 – XM GC15	41
3.2.6 Zkouška hrubováním BX drážky	43
3.2.7 Zkouška hrubováním BX drážky	43
3.2.8 Zkouška dokončováním BX drážky	44
3.2.9 Měření BX drážky 3D strojem Zeiss Accura.....	46
3.3 Vyhodnocení zkoušek	48
3.3.1 Opotřebením monolitních celokarbidových fréz	48
4. Technicko – ekonomické zhodnocení	51



4.1	Současný způsob frézování	51
4.2	Metoda SpiroGrooving.....	52
4.3	Vyhodnocení	53
Závěr		57
Seznam použité literatury		59
Seznam obrázků		61
Seznam tabulek		62
Seznam grafů		64
Seznam příloh		64

Seznam značek a symbolů

Zkratka:	Popis:	Jednotka:
A	tažnost	[%]
a_p	hloubka řezu	[mm]
CNC	computer numeric control - počítačové číslicové řízení	[-]
DCN	min. rozměr nastavení	[mm]
DCX	max. rozměr nastavení	[mm]
f_z	posuv na zub	[mm]
h_{ex}	max. tloušťka třísky	[mm]
HM	hard metal - tvrdokov	[-]
KPM	kapilární zkouška	[-]
KV	nárazová práce	[J]
MGF	magnetická zkouška	[-]
n	otáčky vřetene	$[\text{min}^{-1}]$
N_C	náklady celkové	[Kč/ks]
N_{C1}	celkové náklady frézy HM Flash	[Kč/ks]
N_{C2}	celkové náklady speciální HM kuželové frézy	[Kč/ks]
$N_{FL1,10,86}$	náklady na výrobu drážek frézou HM Flash	[Kč/ks]
$N_{K1,10,86}$	náklady na výrobu drážek HM kuželovou frézou	[Kč/ks]
N_P	náklady na dokončení	[Kč/ks]
N_{P1}	náklady na dokončení jedné BX drážky	[Kč/ks]
$N_{S1,10,86}$	náklady na výrobu drážek VBD	[Kč/ks]
N_V	náklady výsledné	[Kč/ks]
ORJ	organizace řízení jakosti	[-]
Ra	drsnost obrobeného povrchu	[μm]
Rm	mez pevnosti v tahu	[MPa]

R _p	mez pevnosti v kluzu	[MPa]
SK	slinutý karbid	[-]
t _{as}	strojní čas	[min]
t _b	přípravný čas	[min]
t _c	celkový čas dokončení	[min]
UZ	ultrazvuk	[-]
VBD	vyměnitelné břitové destičky	[-]
v _c	řezná rychlost	[m · min ⁻¹]
v _f	posuvová rychlost	[mm · min ⁻¹]
WPS	welding procedure specification – technologický postup svařování	[-]

Úvod

Při neustále se zvyšujících požadavcích na jakost povrchu a snižování výrobních časů při obrábění těžko - obrobitelných materiálů se musí zkoušet jiné metody frézování. Může se toho dosáhnout změnou nástroje a technologie.

Diplomová práce se zabývá náhradou frézování drážky obrábění čelním zapichováním pomocí nástroje, který byl zapůjčený od firmy Sandvik Coromant.

Pro změnu frézování drážky muselo dojít, protože při frézování docházelo k velké spotřebě nástroje ze slinutého karbidu a vizuální stopy při vyjíždění nástroje z místa řezu.

Drážka se musela obrábět do těžko - obrobitelného materiálu Inconel 625, který byl navařován na povrch součásti ventilu. Kvůli proudění roztoků ve ventilu a extrémním podmínkám působící na dně oceánu se muselo použít speciální slitiny oceli, protože běžná ocel tento tlak nevydržela.

Neustále zvyšující požadavky na jejich korozní odolnost s sebou přinášejí vysoké nároky na výrobu ventilů, které upravují průtok potrubím. Aby byla zajištěna naprosto dokonalá funkce výrobku a zamezilo se sebemenšímu úniku média v podmínkách, ve kterých jsou materiály vystaveny nepřetržitému působení koroze a vysokému tlaku, je nutné obrábět tvary sedel těchto ventilů při dodržení úzkých tolerancí rozměrů i kvality obrobené plochy.

Těmto drsným podmínkám odolají jen nejmodernější korozivzdorné materiály, jako jsou duplexní oceli nebo slitiny Inconel, které jsou využívány pro všechny plochy, na kterých dochází ke styku s ropou, plynem a dalšími korozními látkami. To lze co nejúspěšněji zajistit tak, že nejvíce exponované plochy ocelového ventilu, jsou navařovány slitinou Inconel 625. Obrábění těchto navařovaných povrchů však často bývá ještě obtížnější, než v případě dílů, které jsou ze slitin Inconel vyráběny celé, protože při plátování vzniká velmi hrubá povrchová struktura.

U řady součástí pro ropný a plynárenský průmysl jsou kritickými prvky drážky těsnících kroužků, které je třeba obrábět v úzkých tolerancích a vysoké kvalitě. Pro obrábění těchto prvků jsme vyvinuli nové řešení – nový nástroj v kombinaci s novou metodou, kterou nazýváme SpiroGrooving.

Diplomová práce je zadána od firmy V - Nass a.s. (viz obr. 1), kde byl zadán požadavek nahradit frézování BX drážek efektivnější metodou obrábění.

Historie firmy

První historická zmínka o strojírenské výrobě v prostorách dnešní společnosti V-Nass a.s., jsou datována do roku 1917. V tomto roce zde zahájila provoz tehdejší Malostrojírna, která byla součástí Vítkovického horního a hutního těžářství. Do roku 1950 se zde vyráběly pneumatické prvky, dokud nedošlo k rozhodnutí o zrušení výroby a následný vývoz strojního vybavení mimo Vítkovické železářny. Od roku 1951 prostor nynější V-Nass byl přeměn na nářaďovnu, kde již výroba byla zaměřena jen na výrobu nářadí a nástrojů. Další historické vývojové období začalo v roce 1994, kdy byla vytvořena samostatná Podnikatelská jednotka s plánovaným vznikem dceřiné společnosti s ručeným omezením. V průběhu roku 1994 a 1.1 1995 byla společnost založena se 100% majetkovým podílem Vítkovice, a.s. V roce 1997 došlo k odprodeji 100% majetkového podílu Vítkovice, a.s. firmě V-Nass, spol. s r.o. [1]



Obr. 1 Firma V – Nass, a.s.

1. Obrábění těžko – obrobitelného materiálu

1.1 Slitina Inconel 625

Charakteristika

Tato slitina je odolná vůči mnoho agresivním korozním prostředí, zejména vůči důlkové korozi, štěrbinové korozi a vysokoteplotní oxidaci. Typické využití Inconelu je pro výrobu prvků odolávajících vysokým teplotám. Bohužel jejich cena je poměrně vysoká, jsou dražší než korozivzdorné oceli. Z hlediska ekonomiky jsou výhodné, protože jejich cena je kompenzována vysokými mechanickými vlastnostmi. Používá se v leteckém, chemickém, lodním, jaderném průmyslu, zařízeních pro kontrolu znečištění ovzduší, pro spalovací turbíny, těžbu ropy a zemního plynu. [2]

Inconel nikl-chrom slitiny 625 se používá pro svou vysokou pevnost a vynikající strukturu a výbornou odolnost proti korozi. Provozní teploty se pohybují od kryogenní do 982 °C. [3]

Slitina Inconel 625 je zpevňována účinky molybdenu, niobu a niklu. Tyto kombinace prvků jsou zodpovědné za vynikající odolnost proti širokému rozsahu agresivních prostředí, ale také jsou odolné proti oxidaci a nauhličování. Vynikající vlastnosti Inconelu 625 odolného proti oxidaci a koroznímu prostředí je ideální volbou pro mořské prostředí. [3]

Použití:

- strojní díly k těžnému zařízení,
- tryskové motorové výfukové systémy,
- speciální zařízení pro mořskou vodu,
- zařízení pro chemický proces.

Vysoká pevnost v tahu, vysoká tažnost, odolnost proti oxidaci jsou vlastnosti, které dělají Inconel 625 zajímavý pro letecký průmysl. Používá se pro konstrukci pozemních plynových turbín a plynových turbín do leteckých motorů. Dále se uplatňují v průmyslových pecích, spalovacích komorách. [3]

Obrábění

Slitina Inconel 625 lze vzhledem k jeho specifickým vlastnostem zařadit mezi těžkoobrobitelné materiály. Tato slitina je pevnější, houževnatější a tvrdší než většina slitin neželezných kovů a řadě ocelí. Obrábění Inconelu je tedy velmi problematické, a to pro každou operaci. Polotovary z Inconelu jsou velmi nehomogenní a v mnoha případech je nutno měnit parametry obrábění téměř při každém kuse, což kromě zvýšených nákladů na opracování zvyšuje také nároky na technickou úroveň obsluhy obráběcích strojů. [3, 4]

Svařování

Svařování slitin Inconelu je obtížné vzhledem k náchylnosti popraskání v tepelně ovlivněných oblastech. Přesto jsou firmy, které tuto technologii svařování a navařování zvládají a dokážou ji aplikovat i pro tak náročnou výrobu jako je výroba dílů pro technologii podmořského dobývání ropy. Nejčastější způsob svařování a navařování Inconelu je pomocí svařovací metody svařování wolframovou elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu.[4]

Tab. 1.1 Chemické složení Inconelu 625 [5]

Chemické složení v %												
C	M _n	S _i	P	S	F _e	M _o	C _r	N _i	C _u	N _b	T _i	A _l
0,1	0,50	0,50	0,02	0,015	1	8	20	20	0,5	3,5	0,4	0,4

Tab. 1.2 Mechanické vlastnosti Inconelu 625 [5]

Mechanické vlastnosti				
R _{p02}	R _m	Prodloužení	KV	Tvrdost
480 MPa	750 MPa	40 %	150 J	200 HB

1.2 Popis stávající technologie a problematiky opracování těsnících drážek



Obr. 1.1 L – kus příruba

Stávající metodou se BX drážky (viz obr. 1.2) frézují dvěma frézami do materiálu Inconel 625, který je navařován na materiál 42CrMo4. První fréza je hrubovací HM od Waltru s kterou se hrubuje a druhá je dokončovací speciální HM kuželová fréza 23°. Frézuje se obrobek L – kus příruba č. v. 2HN – 83359 - A (viz výkresová příloha D). Frézování BX drážky požadavek na kvalitu obrobeneé plochy Ra 0,8 μm bez vizuálních stop nástroje a tento způsob obrábění byl velice složitý.

Drážky pro těsnící kroužky představují u řady součástí pro ropný a plynárenský průmysl kritické prvky, protože vyžadují dodržení úzkých tolerancí a vysokou kvalitu obrobeneé plochy. Vzhledem k vysoké hodnotě a složitosti součástí má naprosto zásadní význam provozní bezpečnost. Další z komplikací představuje časté použití obtížně obrobiteľných materiálů navařované slitinou Inconel 625. Pro mnoho konvenčních metod pro obrábění drážek pro těsnící kroužky je typická nízká bezpečnost obráběcího procesu a zpomalování výroby. Dochází k časovým ztrátám v důsledku použití pracovních postupů složených z několika operací jak při hrubování, tak i při dokončování. K často používaným nástrojům patří jednobřité nebo ponorné frézy pro dokončení speciální kuželové frézy pro tvar drážky s vysokou časovou náročností, které jsou náchylné k vibracím.



Obr. 1.2 Detail BX drážky

Tab. 1.3 Technologický postup výroby L – kusu příruby

Operace	Pracoviště	Název
10	Kontorla ORJ	Značení
20	Horizontální centrum HCN 8800	Zarovnat čelo, frézovat otvory
30	Horizontální vyvrtávačka WH 10	Zhotovit otvor
40	Zámečnické nástroje	Odjehlit
50	Kontorla ORJ - kalírna	Kontrola tvrdosti
60	Značící zařízení Multi 4	Označit dle výkresu
70	Zámečnické nástroje	Očistit pro kontrolu KPM a MGF
80	Navařovací automat Fronius	Návar bočního otvoru
90	Horizontální vyvrtávačka WH 10	Odstranění přesahu po svařování
100	Navařovací automat Fronius	Navařit dle WPS
110	Horizontální vyvrtávačka WH 10	Frézovat přesah návaru
120	Kontorla ORJ	Zkouška ultrazvukem
130	Zámečnické nástroje	Očistit po UZ
140	Horizontální centrum HCN 8800	Frézovat na hotovo
150	Kontorla ORJ - kalírna	Kontrola tvrdosti
160	Zámečnické nástroje	Odjehlit, upravit pro kontrolu KPM a MGF
170	Kontorla ORJ	Provedení kontroly KPM a MGF
180	Zámečnické nástroje	Očistit po kontrole KPM a MGF
190	Značící zařízení Multi 4	Finální značení dle výkresu
200	Měřicí stroj	Kontrola rozměrů

Stávající metodou se frézování BX drážky provádí na:

- vertikálních obráběcích centrech,



Obr. 1.3 Vertikální obráběcí centrum MCFV 2080

Tab. 1.4 Technické parametry frézky MCFV 2080 [6]

Typ stroje	MCFV 2080 STANDARD
Výrobce	ZPS Tajmac
Upínací plocha stolu	2200 x 780 mm
Pracovní posuv	15 m · min ⁻¹
Rychloposuv	30 m · min ⁻¹
Otáčky vřetena	8000 min ⁻¹
Výkon motoru	25 kW
Krouticí moment	519 N · m
Řídicí systém	HEIDENHAIN iTNC 530

- horizontálních obráběcích centrech.



Obr. 1.4 Horizontální obráběcí centrum HCN 8800

Tab. 1.5 Technické parametry stroje HCN 8800 [7]

Typ stroje	HCN 8800 - II
Výrobce	Yamazaki Mazak
Pracovní posuv	1 - 60 m · min ⁻¹
Rychloposuv	60 m · min ⁻¹
Otáčky vřetena	6000 min ⁻¹
Výkon vřetena	30 kW
Řídící systém	MAZATROL

Chladicí kapalina SHELL ADRANA D208:

Charakteristika:

Shell Adrana D208 je částečně syntetická, vodou ředitelná obráběcí kapalina, neobsahuje chlór, hexahydrotriazin ani formaldehyd. Při smíchání s vodou vytváří velmi jemné emulze, které se vyznačují vysokou stabilitou, čistícími a chladícími účinky. Při používání je nástroj i obrobek dokonale chráněn před korozi. [8]

Používá se pro obrábění litiny, legovaných ocelí a některých hliníkových slitin. Je zvláště vhodná pro obrábění na CNC strojích. Shell Adrana D208 je díky svým čistícím a smáčecím vlastnostem vhodná pro všechny operace obrábění a broušení. [8]

Tab. 1.6 Vlastnosti obráběcí kapaliny SHELL ADRANA D208 [8]

Obsah ropného oleje	22 %
Hustota při 20°C	1020 kg/m ³
pH emulze při 3 %	9,4
Doporučené směšovací poměry Obrábění, soustružení	3 – 5 %

Nástroje na frézování BX drážky:

- hrubování: fréza HM D8 (viz příloha A),



Obr. 1.5 Fréza HM - FLASH

- dokončení: speciální HM kuželová fréza 23° (viz výkresová příloha E).



Obr. 1.6 Speciální HM kuželová fréza

Materiál ventilu: 42CrMo4

Materiálem ventilu je nízkolegovaná ušlechtilá chrom - molybdenová ocel 42CrMo4 - 1.7225. Používá se pro více namáhané strojní díly, kde se požaduje při vysoké pevnosti i vyšší houževnatost, zejména hřídele a spojovací součásti. [9]

Tab. 1.7 Chemické složení materiálu 42CrMo4 [9]

Chemické složení v %						
C	M _n	S _i max	P max.	S max.	C _r	M _o
0,42	0,40	0,75	0,025	0,035	1,10	0,22

Tab. 1.8 Mechanické vlastnosti materiálu 42CrMo4 [9]

Mechanické vlastnosti				
Re min.	Rm	A min.	Z min.	KV min
500 MPa	750 - 900 MPa	14 %	55 %	35 J

Navařovaný materiál Inconel 625 (viz kapitola 1.1)

- drát navařovací: $\varnothing 1,2$ mm
- navařovací stroj: Fronius

Kontrola BX drážky: Univerzální měřidlo 844 T Multimar

Použití:

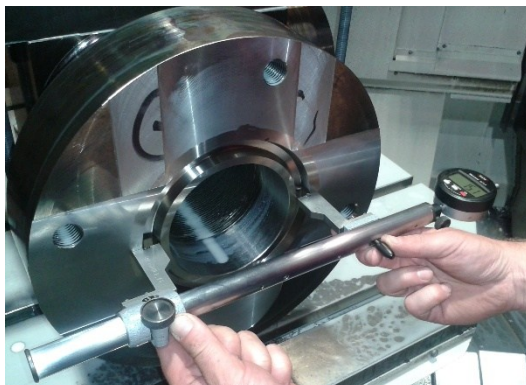
- na měření vnějších a vnitřních rozměrů,
- vnějších a vnitřních závitů,
- středících okrajů,
- úzkých osazení, zápichů a drážek.

Popis přípravy měřidla:

kalibrace Multimaru byl proveden na etalonu drážky oz. FMC 698/9 (viz obr. 1.7). Multimar má dva měřící doteky, pohyblivý a pevný. Pomocí imbus klíče byl multimar upraven na měření vnějšího průměru drážky. Etalonová drážka (viz výkresová příloha F) má vnější průměr 176,6883 mm a měřená drážka má podle výkresu $176,66 \pm 0,09$ mm.

**Obr. 1.7** Kalibrace Multimar

Po kalibraci a nastavení Multimaru bylo možné měřit BX drážku (viz obr. 1.8). Také byly použity k měření BX drážky měřicí šablony ozn. FMC 964/1, FMC 964/2 (viz výkresová příloha G) a šablony na měření zápichu ozn. FMC 964/3 a FMC 964/4 (viz výkresová příloha H).



Obr. 1.8 Měření BX drážky Multimarem

Měření 3D

Tří souřadnicový měřicí stroj (viz obr. 1.9), který je pro potřeby zákazníků využíván zejména pro měření tvarově složitých dílů.

V každém případě je nastavené pravidlo, že každý první kus po dokončení dané operace se měří pro kontrolu a bezpečnost na měřicím stroji 3D.



Obr. 1.9 3D měřicí stroj

1.3 Současný stav opracování BX drážky v návaru Inconel 625

Stávající metodou bylo frézování drážky prováděno na vertikálním nebo horizontálním obráběcím centru. Drážky se frézují do materiálu Inconel 625 pomocí hrubovací a dokončovací frézy. Jako chladicí emulze byla použita SHELL ADRANA D208.

Nástroj na hrubování: Fréza HM s bočním radiusem D8 rychlostní - FLASH (Walter) (viz obr. 1.5) ozn. H3094718 – 8, $z = 4$.

Hrubování drážky:

Přídavek na dno drážky +0,1 mm

Tab. 1.9 Řezné podmínky

Řezná rychlost v_c	$19 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
Posuv na zub f_z	0,327 mm
Posuvová rychlost v_f	$990 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.
Hloubka řezu a_p	0,5 mm

Hrubování drážky se frézuje 22 minut. Během frézování drážky došlo k vyštípnutí zubu na fréze (viz obr. 1.10) a proto musel být snížen posuv o 50 %.



Obr. 1.10 Fréza HM – Flash s vyštípnutým zubem

Hrubování drážky frézou HM – Flash s vyštípnutým zubem za sníženého posuvu:

Tab. 1.10 Řezné podmínky

Řezná rychlost v_c	$19 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
Posuv na zub f_z	0,165 mm
Posuvová rychlost v_f	$500 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Hloubka řezu a_p	0,5 mm

Snížením posuvu na zub a posuvové rychlosti se stejný čas výroby vzrostl dvojnásobně a drážka byla vyrobena za 44 minut.

Dokončení drážky:

Nástroj: Speciální HM kuželová fréza Pilana Karbid (viz obr. 1.6)

Ozn. T30 / 0061, $z = 4$

Tab. 1.11 Řezné podmínky

Řezná rychlost v_c	$69 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
Posuv na zub f_z	0,045 mm
Posuvová rychlost v_f	$400 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Hloubka řezu a_p	9,65 mm

Opracování $R_a = 0,5 \mu\text{m}$

Na materiálu zůstaly podélné stopy po nástroji (viz obr. 1.11). Drážka byla dokončena za 6 minut to i s měřením univerzálním měřidlem 844 T Multimar. Výsledná drsnost povrchu drážky dosahuje $R_a 0,5 \mu\text{m}$.



Obr. 1.11 Stopa po nástroji

Závěr:

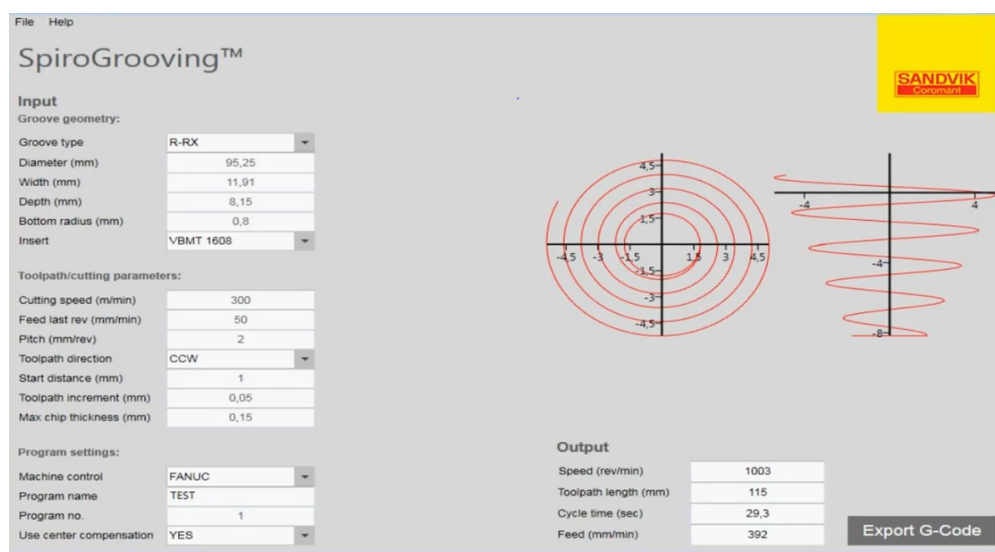
Současným opracováním se drážka vyrobí za 27 min ale, pokud dojde k vyštípnutí zubu, sníží se posuv na polovinu a dojde ke zvýšení strojního času. Také zůstává vizuální stopa po speciální dokončovací HM kuželové fréze, která se musí odstranit lehkým začištěním zámečnický. Výsledná drsnost povrchu obráběné plochy byla $Ra\ 0,5\ \mu m$.

2. Popis technologie SpiroGrooving

SpiroGrooving je revoluční řešení určené pro bezpečné a produktivní obrábění drážek pro těsnicí kroužky na nerotačních součástech. [10]

Metoda SpiroGrooving je poslední revoluční novinkou – jedná se o jednoduchý, ale důmyslný proces určený pro výrobu drážek pro těsnicí kroužky. Jedná se o velice bezpečný a produktivní způsob obrábění, používaný v kombinaci s nástrojovým systémem CoroBore XL, který pro vytvoření drážek pro těsnicí kroužky s úzkými tolerancemi využívá spirografickou dráhu nástroje. [10]

Dráha nástroje sestává z kruhového sestupného pohybu po kuželové ploše, přičemž velikost záběru nástroje odpovídá nastavené výšce sestupu na jednu otáčku. Dráhu nástroje pro metodu SpiroGrooving vypočte na základě několika vstupních parametrů, jako je průměr drážky, rozteč v procesu a zvolená maximální tloušťka třísky, generátor NC kódu (viz obr. 2.1). Generátor NC kódů – zadá se tvar drážky a hodnota řezných parametrů a získá se NC kód. Předběžné nastavení nástroje se provádí v několika jednoduchých krocích. [10]



Obr. 2.1 Generátor NC kódu [11]

Toto řešení je ideální pro výrobu drážek pro těsnicí kroužky v ocelích opatřených plátovanými vrstvami a korozivzdorných ocelích. Obrábění progresivních materiálů usnadňuje unikátně řešený vnitřní přívod řezné kapaliny, použitý u nástrojů CoroBore XL. Hrubování a dokončování se provádí v jedné operaci, což výrazně zkracuje dobu obrábění a zvyšuje produktivitu. [10]

Výhody:

Při obrábění drážek pro těsnicí kroužky umožňuje metoda SpiroGrooving splnění všech klíčových cílů tím nejefektivnějším a nejspolehlivějším způsobem: [10]

- značné zkrácení doby řezu díky vyšším hodnotám řezných parametrů, [10]
- velmi vysoká bezpečnost obráběcího procesu, [10]
- značně flexibilní použití a minimální velikost nástrojového inventáře, [10]
- rychlé a snadné programování pomocí unikátního generátoru NC kódů pro nástroj a vřeteno. [10]

Provozní bezpečnost:

- kontrolované dělení třísek díky spirografické dráze, [10]
- vnitřní přívod řezné kapaliny. [10]

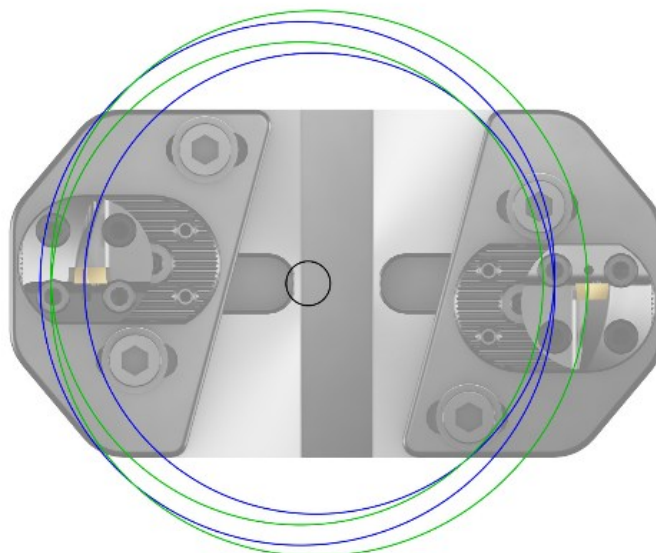
Vysoká produktivita

- vysoké využití stroje díky dobré kontrole utváření třísek, [10]
- vysoce efektivní metoda obrábění. [10]

Modulární flexibilita a zúžení nástrojového inventáře: [10]

- nástroje CoroBore XL umožňují seřízení průměru v rozmezí 50 – 300 mm, [10]
- modulární systém upínání nástrojů Coromant Capto. [10]

Metoda SpiroGrooving využívá kruhový spirografický pohyb nástroje (viz obr. 2.2) po kuželové ploše. Díky tomu dochází ke zmenšení tloušťky třísky, což umožňuje lehký průběh záběru nástroje a zvýšení rychlosti posuvu. Části ostří břitové destičky využívají přerušovaný režim záběru, čímž je eliminováno namotávání dlouhých třísek na nástroj a vřeteno. [10]



Obr. 2.2 Spirografický pohyb nástroje [10]

SpiroGrooving metoda je založena na přerušovaném řezu vnějších a vnitřních plátků, pohybujících se po spirálové dráze dané programem. Vzniká velice lehký řez s extrémně nízkým zatížením plátků. Destičky tvaru V neustále vnikají do řezu a vybíhají z řezu a tvoří krátké třísky. Řezná hrana dlouhá 12,5 mm je skloněná pod 23° (úhel stěny drážky) a funguje jako hladicí břit pro bok drážky, zatímco radius destičky sestupuje pod zvoleným úhlem směrem ke dnu drážky. Asymetrický pohyb v rovině kolmé na osu nástroje, který je doprovázen pomalým sestupováním ve směru osy nástroje vytváří drážky, které všemi svými parametry odpovídají požadavkům. [10]

Součásti nástrojového vybavení

Nástrojové vybavení vychází z osvědčených nejmodernějších standardních koncepcí, jejichž modularita je zárukou značné flexibility aplikací při výrobě drážek. Tam, kde konvenční metody vyžadují nové nastavení nástrojů pro každý typ nebo velikost drážky, pokrývá jeden nástroj SpiroGrooving celou řadu průměrů, čímž je zajištěna flexibilita výroby a minimalizuje se velikost potřebného nástrojového inventáře. [10]

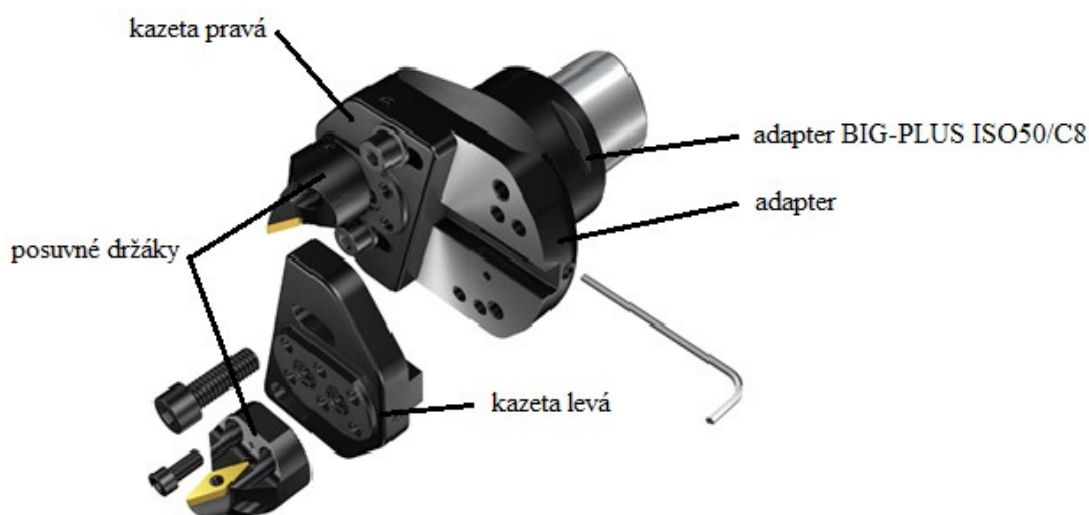
Nástroj pro metodu SpiroGrooving je důmyslný, jednoduše řešený dvoubřitý nástroj se dvěma břitovými destičkami tvaru V, který vychází z osvědčeného systému CoroBore XL pro vyvrtávání. V kombinaci s modulární nástrojovou koncepcí Coromant Capto nabízí řešení plně přizpůsobené pro obrábění drážek pro těsnicí kroužky. [10]

Při použití předchozí koncepce, která pro hrubovací a dokončovací operace využívá konvenční radiální soustružení vícebřitým nástrojem, činila celková doba obrábění dvě minuty. Pokud jde o průměr drážky, nebyla možná jakákoliv flexibilita a nastavení představovalo relativně zdlouhavou proceduru. [10]

S přechodem na metodu SpiroGrooving se doba obrábění zkrátila na 50 sekund. Nástroj lze použít a snadno přenastavit pro několik dalších aplikací při výrobě drážek. Při použití nové metody se součást přesouvá dále za méně než poloviční dobu. [10]

Nástroj se skládá (viz obr. 2.3):

- adapter,
- posuvné držáky,
- kazeta pravá,
- kazeta levá,
- adapter BIG-PLUS ISO50/C8.



Obr. 2.3 SpiroGrooving [11]

3. Návrh obrábění BX drážek metodou SpiroGrooving

Návrh této technologie výroby BX drážek byl použit ve firmě V – Nass a.s. aby nahradil současnou metodu frézování drážek. Metoda SpiroGrooving se využije na obrábění všech rozměrů BX drážek, které V – Nass vyrábí (viz výkresová příloha I).

3.1 Zkoušky nástroje CoroBore XL pro metodu SpiroGrooving před návrhem

Zkouška byla provedena na horizontálním obráběcím centru HCN 8800. Pro tuto zkoušku byl použit nástroj SpiroGrooving (viz obr. 3.1) do zkušebního materiálu 42CrMo4.

- **Nástroj:** Stavitelný nástroj CoroBore XL SpiroGrooving

min. rozměr nastavení DCN = 98,0 mm

max. rozměr nastavení DCX = 189,6 mm

Objednávací kód: 820 – 189VB16 – C8

adapter	ozn. C8 - R822XLS17 – AL 070
posuvné držáky	ozn. S17-R820XL-40A-018 - 2ks
kazeta pravá	ozn. SL-SVXBR-40A-16-085
kazeta levá	ozn. SL-SVXBL-40A-16-085
adapter BIG-PLUS ISO50/C8	ozn. C8-390.540-50 070A

- Rozměry polotovaru: 4HR 240 x 415 mm
- Obráběný materiál: 42CrMo4
- Chlazení nástroje: chladicí emulze SHELL ADRANA D208



Obr. 3.1 SpiroGrooving s menším adaptérem

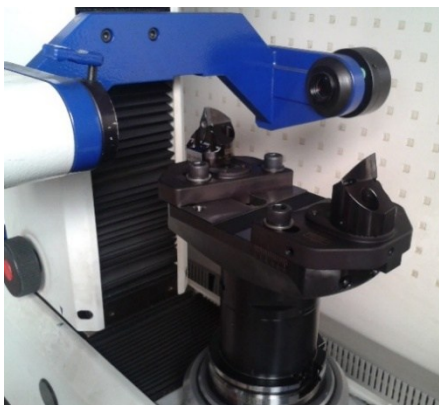
Nastavení nástroje:

Na seřizovacím přístroji BMD 315v HSC (viz obr. 3.2) se nastaví profil vyměnitelné břitové destičky na vypočtenou osu BX drážky.

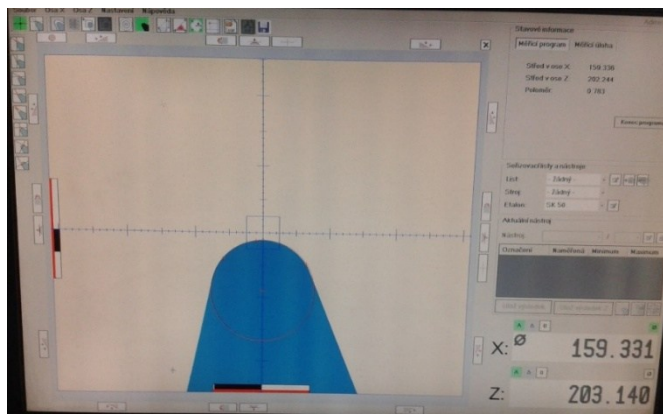


Obr. 3.2 Seřizovací přístroj

VBD byly seřizeny na seřizovacím přístroji BMD 315v HSC



Obr. 3.3 Měření na přístroji
BMD 315v



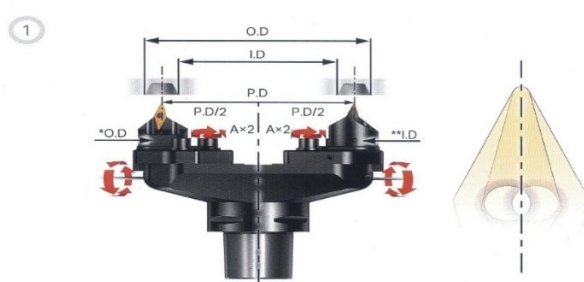
Obr. 3.4 Schéma seřizování VBD destičky

Nastavení a seřízení nástroje:

- 1) na seřizovacím přístroji BMD 315v HSC(KC) nastavit profil VBD na vypočtenou osu BX drážky.

Tab. 3.1 Rozměry drážky

Vnější rozměr drážky	$\varnothing 176,66 + 0,09 \text{ mm}$	střed tolerance 176,705 mm
Šířka drážky	$16,92 + 0,09 \text{ mm}$	střed tolerance 16,965
Osa drážky	$176,705 - 16,965$	159,74 mm (viz obr. 3.5)

**Obr. 3.5** Seřizování břitové destičky [11]

- 2) Hodnoty nastavení destičky: hodnoty BX drážky se musí nastavit směrem vlevo

Příklad výpočtu:

- O.D. (vnější) o hodnotu $0,2 \pm 0,03 \text{ mm}$, tzn. na průměru je to o 0,4 mm,

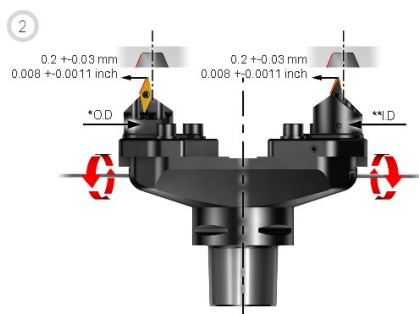
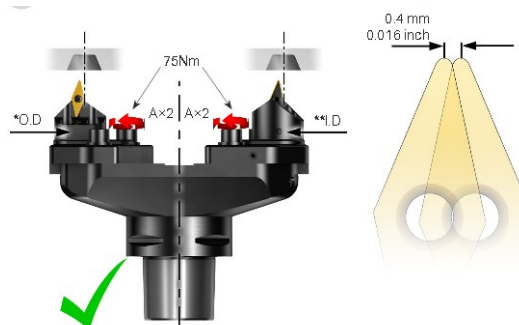
$$159,74 + 0,4 = 160,14 \text{ mm}$$

- I.D. (vnitřní) o hodnotu $0,2 \pm 0,03 \text{ mm}$, tzn. na průměru je to o 0,4 mm,

$$159,74 - 0,4 = 159,34 \text{ mm}$$

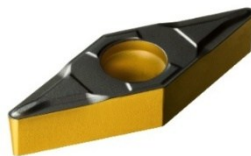
Hodnoty nastavení destiček: O.D. = 160,14 mm

I.D. = 159,34 mm viz obr. 3.6 a 3.7

**Obr. 3.6** Nastavení VBD vlevo [11]**Obr. 3.7** Nastavení VBD [11]

3.1.1 Zkouška za použití VBD VBMT160408 – PF 4325

Zkouška byla provedena do zkušebního materiálu 42CrMo4 nástrojem SpiroGrooving pomocí oboustranné vyměnitelné břitové destičky VBMT160408 – PF 4325 ze slinutého karbidu (viz obr. 3.8) na horizontálním obráběcím centru HCN 8800.



Obr. 3.8 Břitová destička PF 4325 [12]

Zkouška č. 1

Tab. 3.2 Řezné podmínky

Hrubování	
Řezná rychlost v_c	$250 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
Otáčky n	498 min^{-1}
Max. tloušťka třísky h_{ex}	0,16 mm
Posuvová rychlost v_f	$173 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Hloubka řezu a_p	2 mm
Dokončení	
Posuvová rychlost v_f	$35 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Hloubka řezu a_p	9,9 mm

Opracování $R_a = 1,2 - 2,2 \mu\text{m}$

U této zkoušky byl strojní čas výroby drážky 200 s. Výsledná drsnost povrchu byla $R_a 1,2 - 2,2 \mu\text{m}$ což bylo nevyhovující, proto byla posuvová rychlost snížena na $20 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Drsnost povrchu byl měřen drsnoměrem Mahr MarSufR PS1 (viz obr. 3.9). Opotřebení na destičce bylo 0,05 mm.



Obr. 3.9 Drsnoměr Mahr MarSuf PS1

Posuvová rychlost $v_f = 20 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$

Opracování $R_a = 0,9 - 1 \text{ µm}$

Vznikly podélné stopy po nástroji. Výsledná drsnost povrchu po snížení posuvové rychlosti byla $0,9 - 1 \text{ µm}$, což je stále nevyhovující, protože požadovaná drsnost povrchu byla $R_a 0,8 \text{ µm}$. Posuvová rychlost byla snížena na $12 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

Posuvová rychlost $v_f = 12 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$

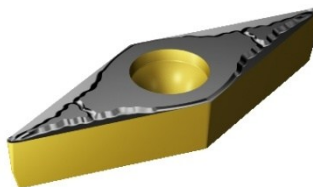
Opracování $R_a = 0,75 \text{ µm}$

Závěr:

U této zkoušky za použití vyměnitelné břitové destičky VBMT 160408 – PF 4325 byla docílena drsnost povrchu po snížení posuvové rychlosti $R_a 0,75 \text{ µm}$. Při obrábění drážky byla použita chladicí kapalina Shell Adriana D208. Tato zkouška byla úspěšná.

3.1.2 Zkouška za použití VBD VBMT 160408 – PM 4235

U této zkoušky byla použita oboustranná vyměnitelná břitová destička VBMT 160408 – PM 4235 ze SK (viz obr. 3.10).



Obr. 3.10 Břitová destička PM 4235 [13]

Zkouška č. 2

Tab. 3.3 Řezné podmínky

Hrubování	
Řezná rychlost v_c	$280 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
Otáčky n	558 min^{-1}
Max. tloušťka třísky h_{ex}	0,16 mm
Posuvová rychlost v_f	$194 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Hloubka řezu a_p	2 mm
Dokončení	
Posuvová rychlost v_f	$40 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Hloubka řezu a_p	9,9 mm

Opracování $R_a = 1,5 \mu\text{m}$

Strojní čas výroby drážky byl 176 s. Výsledná drsnost povrchu byla $R_a 1,5 \mu\text{m}$ což je nevyhovující, proto byla posuvová rychlost snížena na $25 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Drsnost povrchu byl změřen drsnoměrem Mahr MarSuf PS1. Opotřebení na destičce bylo 0,1 mm.

Posuvová rychlost $v_f = 25 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$

Opracování $R_a = 0,11 - 1,3 \text{ } \mu\text{m}$
--

Vznikly opět podélné stopy po nástroji. Výsledná drsnost povrchu po snížení posuvové rychlosti byla $R_a 1,1 - 1,3 \text{ } \mu\text{m}$, což je stále nevyhovující. Posuvová rychlost byla snížena na $15 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

Posuvová rychlost $v_f = 15 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$

Opracování $R_a = 0,8 \text{ } \mu\text{m}$

Závěr:

Zkouška za použití vyměnitelné břitové destičky VBMT160408 – PM 4235 byla úspěšná. Výsledná drsnost povrchu drážky dosahuje $R_a 0,8 \text{ } \mu\text{m}$. Během obrábění byla použita chladicí kapalina Shell Adriana D208.



Obr. 3.11 BX Drážka

3.2 Zkoušky nástroje CoroBore XL pro metodu SpiroGrooving po návaru Inconel 625

Zkouška byla provedena na součást L – kus příruba, na který se navařoval materiál Inconel 625 (viz obr. 3.12). Obrábění drážky bylo provedeno na horizontálním obráběcím centru HCN 8800. Výsledná drsnost povrchu obrobené plochy BX drážky musí být Ra 0,8 μm nebo lepší.

- Nástroj: SpiroGrooving
- Materiál: Inconel 625
- Chlazení nástroje: chladicí emulze SHELL ADRANA D208



Obr. 3.12 Návar

3.2.1 Zkouška za použití VBD VBMT 160408 – XM GC15

Povlakovaná oboustranná vyměnitelná břitová destička VBMT 160408 – XM GC15 ze slinutého karbidu (obr. 3.13).



Obr. 3.13 Břitová destička XM GC15 [14]

Zkouška č. 1

Tab. 3.4 Řezné podmínky

Hrubování	
Řezná rychlost v_c	$40 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
Otáčky n	80 min^{-1}
Max. tloušťka třísky h_{ex}	0,11 mm
Posuvová rychlost v_f	$21 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Hloubka řezu a_p	0,7 mm
Dokončení	
Posuvová rychlost v_f	$21 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Hloubka řezu a_p	9,9 mm

Opracování $R_a = 1,2 \mu\text{m}$

Obrábění drážky bylo provedeno za 30 min a opotřebení na destičce bylo 0,1 mm. Drsnost byla měřena drsnoměrem Mahr MarSufR PS1 a výsledná drsnost povrchu byla $R_a 1,2 \mu\text{m}$. Po vyjetí nástroje ze součásti vznikly vizuální stopy (viz obr. 3.14). Zkouška byla neúspěšná.



Obr. 3.14 Vizuální stopa po nástroji

3.2.2 Zkouška za použití VBD VBMT 160408 – XM GC15

Další zkouška byla provedena se stejnou vyměnitelnou břitovou destičkou VBMT 160408 – XM GC15 ze SK ale, byly změněny řezné parametry.

Zkouška č. 2

Tab. 3.5 Řezné podmínky

Hrubování	
Řezná rychlost v_c	$60 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
Otáčky n	120 min^{-1}
Max. tloušťka třísky h_{ex}	0,11 mm
Posuvová rychlost v_f	$32 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Hloubka řezu a_p	0,7 mm
Dokončení	
Posuvová rychlost v_f	$32 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Hloubka řezu a_p	9,9 mm

Opracování $R_a = 1,1 \mu\text{m}$

Tato zkouška byla provedena za 21 min a opotřebení na vyměnitelné břitové destičce bylo 0,2 mm (viz obr. 3.15). Výsledná drsnost povrchu byla $R_a 1,1 \mu\text{m}$ a opět zůstalo po obrábění drážky vizuální stopy po nástroji. Zkouška byla neúspěšná.



Obr. 3.15 Opotřebení na VBD

3.2.3 Zkouška za použití VBD VBMT 160408 – XM GC15

Zkouška vyměnitelnou břitovou destičkou VBMT 160408 – XM GC15.

Zkouška č. 3

Tab. 3.6 Řezné podmínky

Hrubování	
Řezná rychlost v_c	$60 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
Otáčky n	120 min^{-1}
Max. tloušťka třísky h_{ex}	0,11 mm
Posuvová rychlost v_f	$32 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Hloubka řezu a_p	1 mm
Dokončení	
Posuvová rychlost v_f	$31 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Hloubka řezu a_p	9,9 mm

Opracování R_a : nevyhovující

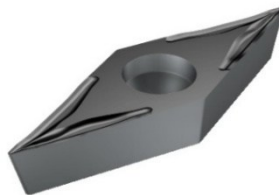
U této zkoušky došlo k vyštípnutí vyměnitelné břitové destičky a zničení obou kazet ve 13 min (viz obr. 3.16). Musely se nechat poslat nové držáky pravý a levý. Výsledná drsnost povrchu se neměřila, protože opracování obrobene plochy bylo nevyhovující.



Obr. 3.16 Opatřebený držák nástroje

3.2.4 Zkouška za použití VBD VBGT 160408 – UM 1105

Povlakovaná broušená oboustranná vyměnitelná břitová destička VBGT 160408 – UM 1105 ze SK (viz obr. 3.17).



Obr. 3.17 Břitová destička UM 1105 [15]

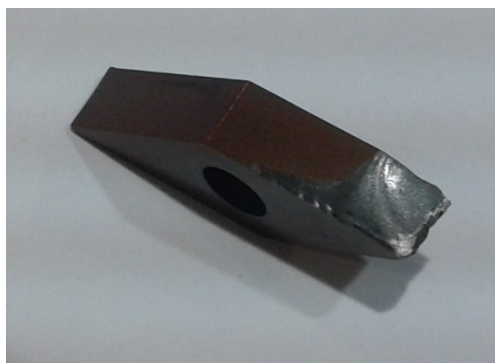
Zkouška č. 4

Tab. 3.7 Řezné podmínky

Hrubování	
Řezná rychlost v_c	$50 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
Otáčky n	100 min^{-1}
Max. tloušťka třísky h_{ex}	0,06 mm
Posuvová rychlost v_f	$15 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Hloubka řezu a_p	0,6 mm
Dokončení	
Posuvová rychlost v_f	$15 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Hloubka řezu a_p	9,9 mm

Opracování $R_a = 1,4 \mu\text{m}$

U této zkoušky došlo během obrábění drážky k vyštípnutí venkovní vyměnitelné břitové destičky (viz obr. 3.18). Výsledná drsnost povrchu byla $R_a 1,4 \mu\text{m}$. Poté se vyměnila břitová destička za jinou jakost a drážka se zkoušela dokončit s co nejlepším povrchem obráběné plochy. Strojní čas výroby drážky byl 35 min.



Obr. 3.18 Vyštípnutí destičky

Destičky: ozn. VBGT 160408 – UM 1115

U této zkoušky bylo zkoušeno dokončit drážku co s nejlepším povrchem.

Zkouška č. 5

Tab. 3.8 Řezné podmínky

Řezná rychlost v_c	$50 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
Otáčky n	100 min^{-1}
Posuvová rychlost v_f	$15 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Hloubka řezu a_p	9,9 mm

Opracování $R_a = 1,0 \mu\text{m}$

Výsledná drsnost povrchu byla $R_a 1,0 \mu\text{m}$, což je nevyhovující, tak se postupně snižovala posuvová rychlost, aby byla dosažena lepší drsnost povrchu.

Posuvová rychlost $v_f = 10 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$	Opracování $R_a = 0,9 \mu\text{m}$
Posuvová rychlost $v_f = 5 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$	Opracování $R_a = 0,8 \mu\text{m}$

Po snižování posuvové rychlosti se dosáhlo požadované drsnosti obráběné plochy. Výsledná drsnost povrchu byla dosažena $R_a 0,8 \mu\text{m}$. Tato zkouška byla úspěšná.

VBD: ozn. VBGT 160408 – UM 1105

Další zkouška byla provedena s vyměnitelnou břitovou destičkou VBGT 160408 – UM 1105 s vyšší řeznou rychlostí. Poté byla postupně snižována posuvová rychlost k docílení nejlepšího opracování drsnosti povrchu.

Zkouška č. 6**Tab. 3.9** Řezné podmínky

Řezná rychlost $v_c = 70 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$	
Posuvová rychlost $v_f = 15 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$	Opracování $R_a = 1,0 \text{ } \mu\text{m}$
Posuvová rychlost $v_f = 10 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$	Opracování $R_a = 0,9 \text{ } \mu\text{m}$
Posuvová rychlost $v_f = 5 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$	Opracování $R_a = 0,8 \text{ } \mu\text{m}$

Výsledná drsnost povrchu byla $0,8 \text{ } \mu\text{m}$. Na vyměnitelné břitové destičce nebylo žádné opotřebení. Zkouška byla úspěšná.

3.2.5 Zkouška za použití VBD VBMT 160408 – XM GC15

Pro tuto zkoušku se drážka pouze hrubovala, rozložila se na 2 hloubky pro kontrolu vyměnitelné břitové destičky VBMT 160408 – XM GC15.

Zkouška č. 7**Tab. 3.10** Řezné podmínky

Řezná rychlost v_c	$40 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
Otáčky n	80 min^{-1}
Max. tloušťka třísky h_{ex}	$0,1 \text{ mm}$
Posuvová rychlost v_f	$21 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Hloubka řezu a_p	$0,7 \text{ mm}$

Během obrábění došlo k vyštípnutí destičky 2 mm od dna drážky. Zkouška byla neúspěšná.

Při hrubování BX drážky s destičkou s radiusem R 0,8 mm se nebylo možné spolehnout na to, že se destička v průběhu opracování nevyštípne, proto se bude volit destička s radiusem R1,2 mm a objedná se SpiroGrooving s větším adapter (viz obr. 3.19) pro větší stabilitu dle následující specifikace.



Obr. 3.19 SpiroGrooving s větším adaptérem

Objednání nástroje SpiroGrooving s větším adaptérem pro pevnější, tužší upnutí kazety pravé a levé.

Objednávací kód: 820 – 239VB16 – C8

DCN = 198,0 mm

DCX = 289,6 mm

Adapter	ozn. C8-R822XLS17– AL 070
posuvné držáky	ozn. S17-R820XL-40A-018...2ks
kazeta pravá	ozn. SL-SVXBR-40A-16-085
kazeta levá	ozn. SL-SVXBL-40A-16-085
adapter BIG-PLUS ISO50/C8	ozn. C8-390.540-50 070A

3.2.6 Zkouška hrubováním BX drážky

Pro další zkoušku byl použit SpiroGrooving s větším adaptérem a vyměnitelné břitové destičky VBMT 160412 – MM 1125 (viz obr. 3.20) s poloměrem zaoblení špičky R 1,2 mm. V této zkoušce byla drážka jenom hrubována. Drážka byla rozložena se na dvě hloubky pro kontrolu VBD, první hloubka byla vyhrubována do 3 mm a následně se kontrolovala destička, druhá hloubka se dokončovala hrubováním na požadovaný rozměr.



Obr. 3.20 Břitová destička MM 1125 [16]

Zkouška č. 8

Tab. 3.11 Řezné podmínky

Řezná rychlost v_c	$40 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
Otáčky n	80 min^{-1}
Max. tloušťka třísky h_{ex}	0,1 mm
Posuvová rychlost v_f	$21 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Hloubka řezu a_p	0,7 mm

U této zkoušky se kontrolovala hloubka opotřebení materiálu. První hloubka byla bez opotřebení a druhá hloubka byla také bez opotřebení, ale na povlaku vznikl pouze lehký otěr.

3.2.7 Zkouška hrubováním BX drážky

U této zkoušky se drážka pouze hrubovala bez přerušení, byla otočena vyměnitelná břitová destička pro bezpečné opracování. VBD použitá při této zkoušce byla VBMT 160412 – MM 1125 s poloměrem zaoblení špičky R 1,2 mm.

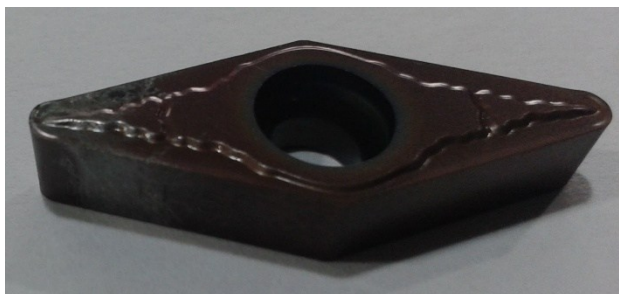
Zkouška č. 9

Tab. 3.12 Řezné podmínky

Řezná rychlost v_c	$40 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
Otáčky n	80 min^{-1}
Max. tloušťka třísky h_{ex}	0,1 mm
Posuvová rychlost v_f	$21 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Hloubka řezu a_p	0,7 mm

Opracování $R_a = 1,2 \mu\text{m}$

Další zkouškou byla vyměnitelná břitová destička bez opotřebení, pouze vznikl otěr na povlaku (viz obr. 3.21). Strojní čas hrubování byl 23 min. Výsledná drsnost povrchu byla $R_a 1,2 \mu\text{m}$. Zkouška byla úspěšná, i když nebylo dosaženo požadované drsnosti $R_a 0,8 \mu\text{m}$, protože se drážka pouze hrubovala.



Obr. 3.21 VBD s otěrem na povlaku

3.2.8 Zkouška dokončováním BX drážky

Pro tuto zkoušku byly použity vyměnitelné břitové destičky VBGT 160408 – UM 1105 s rádiusem $R 0,8 \text{ mm}$. Tato zkouška je dokončovací.

Zkouška č. 10**Tab. 3.13** Řezné podmínky

Řezná rychlost v_c	40 m · min ⁻¹
Otáčky n	80 min ⁻¹
Posuvová rychlost v_f	15 mm · min ⁻¹
Hloubka řezu a_p	9,9 mm

Opracování $R_a = 1,4 \mu\text{m}$

Výsledná drsnost povrchu byla $R_a 1,4 \mu\text{m}$ a po nástroji zůstaly vizuální stopy. Opotřebení na vyměnitelné břitové destičce bylo 0,1 mm. Zkouška byla nevyhovující.

Pro další zkoušku byly změněny řezné parametry vyměnitelné břitové destičky VBGT 160408 – UM 1105.

Zkouška č. 11**Tab. 3.14** Řezné podmínky

Řezná rychlost v_c	70 m · min ⁻¹
Otáčky n	139 min ⁻¹
Posuvová rychlost v_f	5 mm · min ⁻¹
Hloubka řezu a_p	9,9 mm

Opracování $R_a = 0,8 \mu\text{m}$

U poslední zkoušky byla výsledná drsnost povrchu $R_a 0,8 \mu\text{m}$, ale zůstaly lehké vizuální stopy po nástroji. Strojní čas dokončení drážky byl 5 min a opotřebení na vyměnitelné břitové destičce bylo 0,1 mm. Zkouška byla úspěšná.

3.2.9 Měření BX drážky 3D strojem Zeiss Accura

Součást ventil byl převezen do kooperace firmy Niara s.r.o, kde byl pomocí 3D měřicího stroje Zeiss CONTURA G2 RDS (viz obr. 3.22) změřen a vystaven protokol měření (viz příloha B), protože ve firmě V - Nass nemá 3D stroj skenovací hlavu.



Obr. 3.22 Měřicí stroj Zeiss Contura

Tab. 3.15 Technické parametry 3D měřicího stroje Contura G2 RDS [17]

Měřicí rozsah v osách x/y/z	1000/1600/600 mm
Přesnost měření	MPEE = $(2,9 + L/350) \mu\text{m}$
Maximální hmotnost měřeného dílu	1 000 kg
Měřicí hlava	Zeiss RDS
Měřicí sondy	Zeiss VAST
Software	Calypso 5.8

Charakteristika stroje:

Široká platforma ZEISS pro flexibilní, spolehlivé a důkladné zajištění kvality. Nejnovější generace je ještě přesnější, nabízí větší měřicí rozsah a také různé optické senzory. Díky vynikající technologii skenování, referenčnímu softwaru ZEISS CALYPSO a koordinované celkové koncepci nastavuje ZEISS CONTURA standard ve své třídě. [17]

Podle konstrukční velikosti se na stroji ZEISS CONTURA používají keramická vedení nebo vedení v technologii CARAT pro vysokou tuhost, nízkou tepelnou roztažnost a minimální pohybující se hmotnost. Vzduchová ložiska ve všech třech osách zajišťují konstantní stabilitu i při vysoké pojezdové rychlosti a při zrychlení. ZEISS CONTURA má sklokeramická měřítka s plovoucím uložením, která téměř nepodléhají roztažnosti a nevyžadují tudíž přídavná teplotní čidla a matematickou kompenzaci. Jsou vhodná do dílenského prostředí, protože jsou chráněna proti nečistotě a dalším okolním vlivům. [17]

Skenovací hlava VAST XXT

V celé řadě měřicích aplikací může uživatel využít kombinace flexibility otočné hlavy (viz obr. 3.23) se schopností skenování. VAST XXT je pro takové měřicí úlohy ideální. V porovnání se spínacími senzory zvyšuje VAST XXT provozní bezpečnost a přesnost měření. Přidává také funkci skenování a tím poskytuje informace o tvaru měřených prvků. [17]

Kompaktní a lehká konstrukce skenovacích senzorů na otočné hlavě vyžaduje různé senzorové moduly. VAST XXT pokrývá se třemi moduly rozsah typické délky snímačů pro tuto konstrukci senzoru. Na tento senzor se mohou připevnit boční snímače do délky 65 milimetrů. Hodí se také pro pevnou instalaci. [17]



Obr. 3.23 Skenovací hlava

3.3 Vyhodnocení zkoušek

Z výsledků zkoušek vyplývá, že provedené zkoušky byly úspěšné a navržené nástroje SpiroGrooving se osvědčily. Výsledná drsnost povrchu dle požadavku firmy V- Nass splňovalo $Ra\ 0,8\ \mu m$, ale zůstaly lehké vizuální stopy po nástroji. Z těchto testů vyplývá, že se doporučuje nástrojem SpiroGrooving drážky pouze hrubovat destičkou VBMT 160412 – MM 1125 s poloměrem zaoblení špičky $R\ 1,2\ mm$ bez dokončovací operace.

Tvorba třísky (viz obr. 3.24) při nástroji SpiroGrooving v materiálu Inconel 625. Tříska se během obrábění plynule láme a tvoří stejný spirálovitě tvarované třísky, které jsou považovány za neproblematické a přijatelné. Odcházející třísky často přejímají zakřivený tvar, mající jak poloměr třísky, tak tvar spirály. Utváření třísek je absolutně pod kontrolou díky přerušovanému záběru nástroje a také utvářečům destiček.



Obr. 3.24 Tvorba třísky

3.3.1 Opotřebení monolitních celokarbidových fréz

Rozpoznání opotřebení nástroje, jeho typ a velikost na břitě lze provést několika způsoby:

- vizuální kontrola, zpravidla pomocí lupy, [18]
- zvýšená spotřeba energie znamená, že se zvyšují řezné síly. To by mohlo naznačovat zvyšování opotřebení nástroje. Ve skutečnosti to však nelze vždy takto snadno určit, [18]

- změna kvality opracování – v rozměrech, tvaru nebo zvýšené drsnosti obrobeného povrchu je také známkou toho, že dochází k opotřebení břitů, [18]
- změna barvy třísek znamená, že se změnilo vyvinuté teplo z řezání, vznikají při daném procesu. Opotřebení, které se objevuje na ostří, může být příčinou tohoto jevu, [18]
- výskyt otřepů udává, že se rovněž změnila geometrie břitů. Důvodem může být jeho opotřebení. Avšak u některých obrobkových materiálů, jako jsou např. inconel, může docházet k tvorbě otřepů rovněž z důvodu určitých vlastností tohoto materiálu. V těchto případech nemají otřepy žádnou spojitost s opotřebením břitů/ostří. [18]

Při hodnocení opotřebení nástroje nebo poškození na fréze ze slinutých karbidů, je důležitým faktorem velikost frézy. Typ opotřebení ovlivní také používaná strategie obrábění.

Mezi možné typy opotřebení patří např.:

- opotřebení hřbetu. Tento typ je výhodnější oproti ostatním typům, protože se jedná o nejběžnější a kontrolovatelný typ opotřebení, [18]
- vylamování drobných částic břitů. Jedná se o nebezpečné vzory opotřebení pro frézy ze slinutých karbidů, ale velmi často jsou nevyhnutelné. Jedná se o nejběžnější nekontrolovatelný typ opotřebení nástroje, [18]
- vrubové opotřebení, které se vyskytuje nejvíce v materiálech na bázi niklu a slitin titanu, [18]
- nárůstky a opotřebení jimi způsobené jsou nejčastější u korozivzdorných ocelí a neželezných materiálů, [18]
- opotřebení ve tvaru žlábků/výmolů na čele bude především pozorováno u vysoce legovaných slitin na bázi titanu a železa, [18]
- plastická deformace ostří se na frézách ze slinutých karbidů nevyskytuje často. [18]



Obr. 3.25 Fréza Flash po dvou ostřeních

Na fréze HM - Flash se provede po ostření na stopce pro kontrolu zabrus, aby se vědělo, kolikrát fréza byla přeastřovaná. Životnost frézy je tři ostření. Z obr. 3.25 je vidět, že fréza už byla dvakrát přeastřena a ještě jedno přeastření a poté následuje otupení a vyřazení ze stavu. Za vyřazenou frézu se objedná nová.

V technicko – ekonomickém zhodnocení bylo provedeno porovnání současného způsobu frézování a metody SpiroGrooving.

Drážka se současným způsobem frézuje HM – Flash hrubovací a speciální HM kuželovou dokončovací frézou.

Tab. 4.1 Náklady na nástroje

Fréza HM - Flash	2092 Kč
Speciální HM kuželová fréza	1825 Kč
Celkové náklady nástrojů	3917 Kč

Po každém frézování BX drážky se musela fréza HM - Flash nechat přeastřit. Speciální HM kuželová fréza má trvanlivost 3 drážky. Náklady na přeastření fréz činí:

Přeostření frézy HM - Flash	1 drážka / přeostření	1267 Kč
Přeostření speciální HM kuželové frézy	3 drážky / přeostření	690 Kč

Náklady výroby na jednu BX drážku činí: $N_{P1} = 1267 + \frac{690}{3} = 1467$ Kč

Fréza HM – Flash 3 přestření

Speciální HM kuželová fréza 4 přestřeni

Celkové náklady fréz za rok 2015:

Fréza HM – Flash 81 ks $N_{c1} = 81 \cdot 2092 = 169\,452 \text{ Kč}$

Speciální HM kuželová fréza 9 ks $N_{c2} = 9 \cdot 1825 = 16\,425 \text{ Kč}$

4.2 Metoda SpiroGrooving

Obrábění BX drážky metodou SpiroGrooving se provádí dokončovací a hrubovací operace najednou.

Pořizovací náklady na nástroj:

Stavitelný nástroj CoroBore XL SpiroGrooving s větším adaptérem

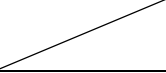


Objednávací kód: 820 – 239VB16 – C8

Tab. 4.2 Náklady na SpiroGrooving

Adapter	13 908 Kč
Posuvné držáky	19 821 Kč
Kazeta pravá	3 756 Kč
Kazeta levá	3 756 Kč
Adapter BIG-PLUS ISO50/C8	8 418 Kč
Celkem	49 656 Kč

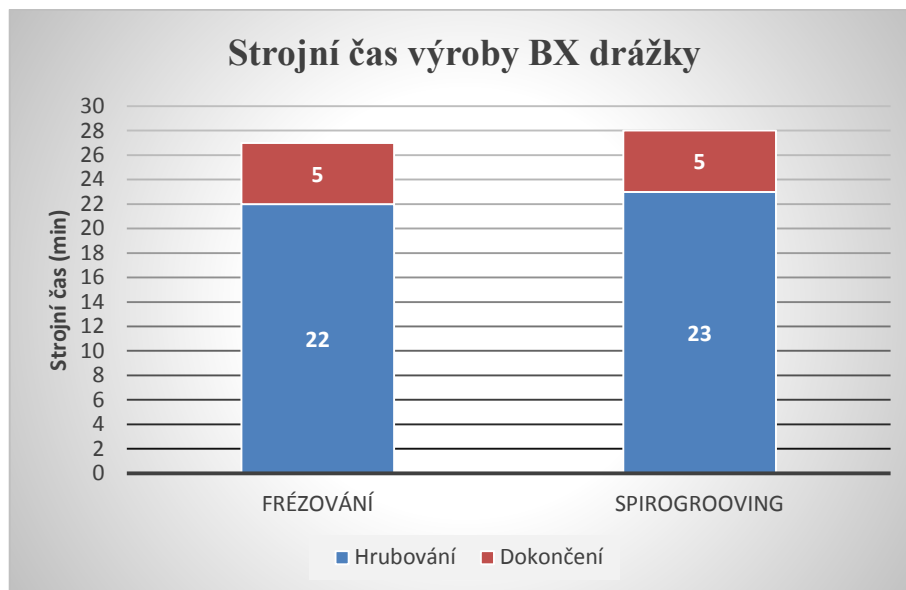
Celkové náklady na nástroj SpiroGrooving činí 49 656 Kč.

Tab. 4.3 Ceny vyměnitelných břitových destiček

Výrobce	Označení destičky		Ceny
Sandvik Coromant	VBMT 160412 – MM 1125 - hrubování		258 Kč/ks
Sandvik Coromant	VBGT 160408 – UM 1105 - dokončení		385 Kč/ks

4.3 Vyhodnocení

Porovnání výrobních časů současný způsob frézování a SpiroGrooving:



Graf 4.1 Výrobní časy BX drážky

Z grafu 4.1 vyplývá, že rozdíl strojních časů současné metody frézování a SpiroGrooving jsou nepatrné. Strojní čas výroby drážky frézováním byl 27 min a metodou SpiroGrooving byl 28 min.

Strojní čas t_{as}	28 min
Přípravný čas t_b	400 min
Sazba centra HCN 8800	18,42 Kč / min

Celkový čas dokončení: $t_c = t_{as} + t_b = 28 + 400 = 428$ min

Náklady na dokončení: $N_p = 428 \cdot 18,42 = 7883,6$ Kč

Přípravný čas při dávce 10 kusů:

$$t_{b10} = \frac{t_b}{k_s} = \frac{400}{10} = 40 \text{ min}$$

Čas dokončení při dávce 10 ks: $t_{c10} = t_{as} + t_{b10} = 28 + 40 = 68$ min

Náklady na dokončení při dávce 10 ks: $N_{p10} = 68 \cdot 18,42 = 1252,56$ Kč

Součást L- kus příruba se ve firmě V – Nass za rok 2015 vyrobí 86 kusů. L – kus příruba se vyrábí v dávkách po 10 kusech, každá součást má jednu BX drážku. Náklady pro výrobu drážek činí:

Tab. 4.4 Náklady na výrobu drážek

	1 drážka	10 drážek	86 drážek
Fréza HM – Flash	3359 Kč	16 412 Kč	174 639 Kč
Speciální HM kuželová fréza	1825 Kč	4125 Kč	44 455 Kč
SpiroGrooving - VBD	258 Kč	2580 Kč	71 844 Kč

Př. výpočtu:

Fréza HM – Flash:

$$N_{FL1} = 2092 + 1267 = 3359 \text{ Kč}$$

$$N_{FL10} = 2092 \cdot 3 + 1267 \cdot 8 = 16\,421 \text{ Kč}$$

$$N_{FL86} = 16\,412 \cdot 10 + 2092 \cdot 2 + 1267 \cdot 5 = 174\,639 \text{ Kč}$$

Speciální HM kuželová fréza:

$$N_{k1} = 1825 \text{ Kč}$$

$$N_{k10} = 1825 + 3 \cdot 690 + \frac{690}{3} = 4125 \text{ Kč}$$

$$N_{k86} = 4125 \cdot 10 + 1825 + 2 \cdot 690 = 44\,455 \text{ Kč}$$

SpiroGrooving – VBD:

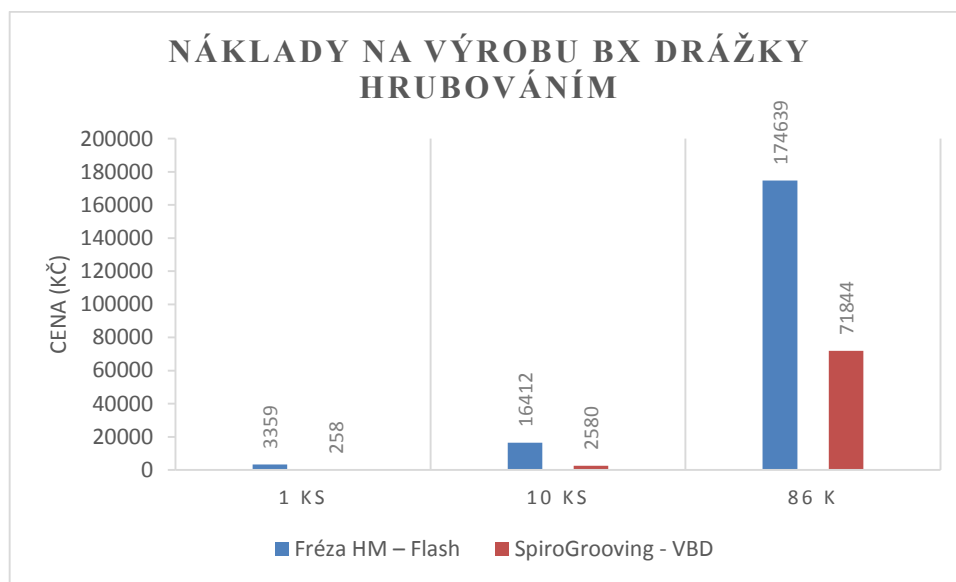
$$N_{s1} = \frac{258 \cdot 2}{2} = 258 \text{ Kč}$$

$$N_{s10} = \frac{258 \cdot 2 \cdot 10}{2} = 2580 \text{ Kč}$$

$$N_{s86} = \frac{258 \cdot 2 \cdot 86}{2} + 49\,656 = 71\,844 \text{ Kč}$$

Tab. 4.5 Porovnání nákladů na výrobu BX drážky hrubováním

	1 drážka	10 drážek	86 drážek
Fréza HM – Flash	3359 Kč	16 412 Kč	174 639 Kč
SpiroGrooving - VBD	258 Kč	2580 Kč	71 844 Kč

**Graf 4.2** Náklady na drážky hrubováním

Z grafu 4.2 lze vyčíst, že cena výroby 86 drážek hrubováním pomocí fréza HM – Flash je 174 639 Kč. Metodou SpiroGrooving se dosáhla cena 71 844 Kč. K metodě SpiroGrooving se musí připočítat jednorázové náklady 49 656 Kč za nástroj. Z tohoto pohledu je výhodnější metoda SpiroGrooving. Náklady na výroby BX drážek je proti současné metodě frézování rozdíl a úspora 102 795 Kč.

Tab. 4.6 Celkové náklady výroby dokončením

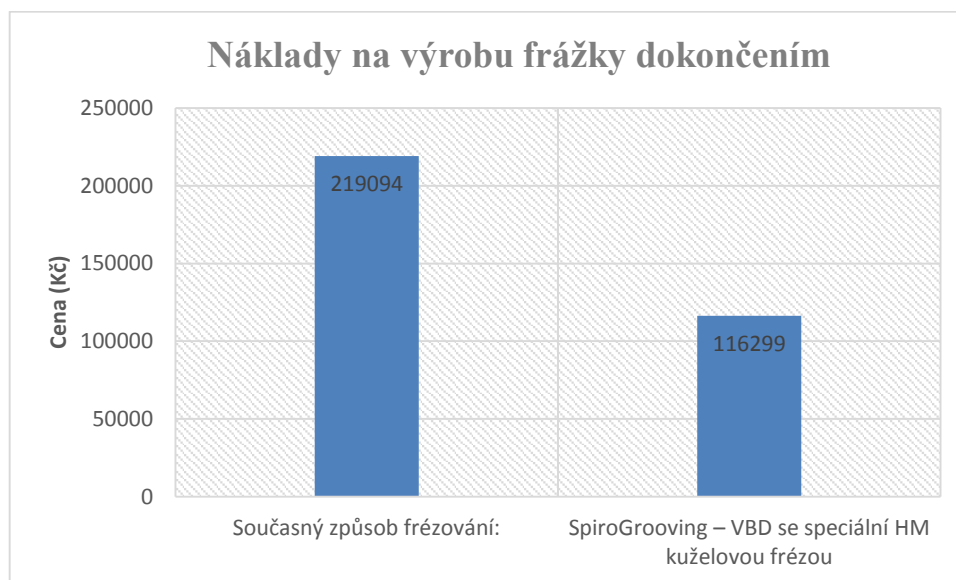
	86 drážek
Fréza HM – Flash	174 639 Kč
Speciální HM kuželová fréza	44 455 Kč
SpiroGrooving - VBD	71 844 Kč

Celkové náklady na současný způsob frézování:

$$N_{v1} = 174\,639 + 44\,455 = 219\,094 \text{ Kč}$$

Celkové náklady metody SpiroGrooving se speciální HM kuželovou frézou:

$$N_{v2} = 44\,455 + 71\,844 = 116\,299 \text{ Kč}$$



Graf 4.3 Celkové náklady na drážky dokončením

$$N_v = 219\,094 - 116\,299 = 102\,795 \text{ Kč}$$

Z grafu 4.3 lze vyčíst, že cena výroby drážek současnou metodou frézováním je 219 094 Kč. SpiroGrooving se speciální HM kuželovou frézou dosáhl cenu 116 299 Kč. Z tohoto pohledu je výhodnější metoda SpiroGrooving se speciální HM kuželovou frézou. Náklady na výroby BX drážek je proti současné metodě frézování rozdíl a úspora 102 795 Kč.

Závěr

Zadáním této diplomové práce bylo nahrazení frézování BX drážek metodou SpiroGrooving. Hlavním cílem bylo této práce opracovat metodou SpiroGrooving BX drážky před navařením a po navaření Inconelem 625 ve firmě V - Nass, a.s. Současně byla kontrolována i drsnost Ra obrobené plochy.

Úvod práce byl zaměřen na stávající způsob frézování BX drážek. Dále následoval popis metody SpiroGrooving a jeho testování na obrábění drážek. Jako vhodný obráběcí stroj byl zvolen Horizontální obráběcí centrum HCN 8800. Nástroj SpiroGrooving byl zapůjčený od firmy Sandvik Coromant. Testování probíhalo na stroji za konstantních řezných podmínek, kdy se měnila pouze posuvová rychlost. Drsnost povrchu byla měřena pomocí drsnoměru Mahr MarSuf PS1.

Provedené zkoušky byly úspěšné, navržené nástroje se osvědčily, dosažené opracování dle firemního požadavku splňovalo opracování Ra 0,8 μm , ale vizuální stopy po nástroji byli pořád viditelné. Po finálním opracování BX drážky se díl odeslal do měřicí laboratoře NIARA s.r.o. na proměření drážky i s grafikou. Výsledky měření drážky viz příloha B. Pro výrobu BX drážky se doporučuje nástrojem SpiroGrooving pouze hrubovat bez dokončovací operace s následným opracováním speciální HM kuželovou frézou.

Rozdíly na strojní čas jsou v obou případech nepatrné. Drsnost povrchu je v obou případech v tolerancích. Při frézování, pokud nevznikne problém se štípáním frézy, tak je strojní čas 27 minut, v horším případě se musí snížit řezné podmínky a výrobní čas drážky se zvýší na 44 minut. Při opracování technologií SpiroGrooving je strojní čas 28 minut. Pro zkrácení strojního času v průběhu obrábění můžeme zvýšit hloubku třísky a_p , a tím bychom snížily životnost vyměnitelné břitové destičky.

Další nevýhodou současné metody frézování je dodací termín na přeostření frézy HM – Flash od firmy Walter, který je 6 týdnů. Přeostření speciální HM kuželové dokončovací frézy je termín dodání 10 pracovních dnů. Oproti tomu vyměnitelné břitové destičky do technologie SpiroGrooving jsou skladové položky, termín dodání do druhého dne, protože jsou uloženy v toolboxu ve firmě V – Nass.

V závěru bylo provedeno technicko – ekonomické zhodnocení porovnání metod obrábění. Náklady na výrobu drážek současnou metodou frézováním činily 219 094 Kč za rok. Náklady na výrobu SpiroGrooving se speciální HM kuželovou frézou dosáhlo ceny 116 299 Kč. Úspora zavedením metody SpiroGrooving se speciální HM kuželovou frézou ušetřila 102 795 Kč.

Zavedení staro-nové technologie pro výrobu drážek se nezkrátily výrobní časy pro zhotovení, ale za to se snížily náklady na výrobu. Do budoucna metoda SpiroGrooving může nahradit speciální HM kuželovou frézu. Na hrubovací operace je SpiroGrooving vynikající, ale dokončovací operace drážek vyrobených s přesností na setiny milimetru s nízkou kvalitou drsnosti povrchu je nedostačující.

Seznam použité literatury

- [1] *V-NASS, a.s.* [online]. 2012 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.v-nass.cz/>
- [2] *Bibus Metals* [online]. 2010 [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://www.bibusmetals.cz/materialy/nikl-niklove-slitiny/inconelr-alloys/inconelr-alloy-625/>
- [3] *Special Metals: www.specialmetals.com* [online]. 2012 [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://www.specialmetals.com/assets/documents/alloys/inconel/inconel-alloy-625.pdf>
- [4] VITÁSEK, Tomáš. *Porovnání zpevňovacího efektu při obrábění navařeného Inconelu 625 a kovaného Inconelu 625*. Ostrava, 2011. Diplomová práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Doc. Dr. Ing. Ivan Mrkvica.
- [5] *NICKEL ALLOY FILLER METAL* [online]. 2012 [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: http://tornbosvejs.dk/fileadmin/user_upload/user_opload/filer/brambilla/nikkel/ER_NiCrMo3_.pdf
- [6] *TAJMAC-ZPS, a.s.: MCFV 2080* [online]. 2012 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.tajmac-zps.cz/cs/MCFV-2080>
- [7] *Mazak: HCN 8800* [online]. 2016 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <https://www.mazakusa.com/machines/horizontal-center-nexus-8800-ii/>
- [8] *Shell Adrana D208* [online]. 2002 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.madoil.cz/dodavatelsky-program/shell/technicke-listy/AdranaD208.pdf>
- [9] *Bolzano* [online]. 2010 [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: http://www.bolzano.cz/assets/files/TP/MOP_%20Tycova_ocel/EN_10083/MOP_vl_astnosti_42CrMo4.pdf
- [10] *Sandvik Coromant: SpiroGrooving* [online]. 2015 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/SiteCollectionDocuments/pdf/products/white-paper/spirogrooving-white-paper-eng.pdf>
- [11] *Sandvik Coromant* [online]. 2015 [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/SiteCollectionDocuments/pdf/products/handling-instructions/spirogrooving.pdf>

- [12] *Sandvik Coromant: VBMT 16 04 08-PF 4325* [online]. 2015 [cit. 2016-05-08].
Dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/pages/productdetails.aspx?c=VBMT%2016%2004%2008-PF%204325>
- [13] *Sandvik Coromant: VBMT 16 04 08-PM 4235* [online]. 2015 [cit. 2016-05-08].
Dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/pages/productdetails.aspx?c=VBMT%2016%2004%2008-PM%204235>
- [14] *Sandvik Coromant: VBMT 16 04 08-XM GC15* [online]. 2015 [cit. 2016-05-08].
Dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/pages/productdetails.aspx?c=VBMT%2016%2004%2008-XM%20GC15>
- [15] *Sandvik Coromant: VBGT 16 04 08-UM 1105* [online]. 2015 [cit. 2016-05-08].
Dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/pages/productdetails.aspx?c=VBGT%2016%2004%2008-UM%201105>
- [16] *Sandvik Coromant: VBMT 16 04 12-MM 1125* [online]. 2015 [cit. 2016-05-08].
Dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/pages/productdetails.aspx?c=VBMT%2016%2004%2012MM%201125>
- [17] *ZEISS ACCURA* [online]. 2014 [cit. 2016-05-08]. Dostupné z:
http://www.zeiss.cz/industrial-metrology/cs_cz/produkty/systemy/bridge-type-cmms/contura.html
- [18] *Seco: Monolitní karbidové frézy* [online]. 2015 [cit. 2016-05-15]. Dostupné z:
https://www.secotools.com/CorpWeb/Czech%20Republic/katalogy/2015/CZ_Catalog_Solid%20end%20mills_2015_Inlay_LR.pdf

Seznam obrázků

Č. obrázku	Popis obrázku	Strana
Obr. 1	Firma V-Nass, a.s.	11
Obr. 1.1	L – kus příruba	14
Obr. 1.2	Detail BX drážky	14
Obr. 1.3	Vertikální obráběcí centrum MCFV 2080	16
Obr. 1.4	Horizontální obráběcí centrum HCN 8800	16
Obr. 1.5	Fréza HM – FLASH	18
Obr. 1.6	Speciální HM kuželová fréza	18
Obr. 1.7	Kalibrace Multimar	19
Obr. 1.8	Měření BX drážky Multimarem	20
Obr. 1.9	3D měřicí stroj	20
Obr. 1.10	Fréza HM D8	21
Obr. 1.11	Stopa po nástroji	23
Obr. 2.1	Generátor NC kódu [11]	24
Obr. 2.2	Spirografický pohyb nástroje [10]	26
Obr. 2.3	SpiroGrooving [11]	27
Obr. 3.1	SpiroGrooving s menším adaptérem	29
Obr. 3.2	Seřizovací přístroj	29
Obr. 3.3	Měření na přístroji BMD 315v	29
Obr. 3.4	Schéma seřizování VBD destičky	29
Obr. 3.5	Seřizování břitové destičky [11]	30
Obr. 3.6	Nastavení VBD vlevo [11]	30
Obr. 3.7	Nastavení VBD [11]	30

Obr. 3.8	Břitová destička PF 4325 [12]	31
Obr. 3.9	Drsnoměr Mahr MarSufR PS1	32
Obr. 3.10	Břitová destička PM 4235 [13]	33
Obr. 3.11	BX Drážka	34
Obr. 3.12	Návar	35
Obr. 3.13	Břitová destička XM GC15 [14]	35
Obr. 3.14	Vizuální stopa po nástroji	36
Obr. 3.15	Opotřebení na VBD	37
Obr. 3.16	Opotřebený držák nástroje	38
Obr. 3.17	Břitová destička UM 1105 [15]	39
Obr. 3.18	Vyštípnutí destičky	40
Obr. 3.19	SpiroGrooving s větším adaptérem	42
Obr. 3.20	Břitová destička MM 1125 [16]	43
Obr. 3.21	VBD s otěrem na povlaku	44
Obr. 3.22	Měřicí stroj Zeiss Contura	46
Obr. 3.23	Skenovací hlava	47
Obr. 3.24	Tvorba třísky	48
Obr. 3.25	Fréza Flash po dvou ostřeních	50

Seznam tabulek

Č. tabulky	Popis tabulky	Strana
Tab. 1.1	Chemické složení Inconelu 625 [5]	13
Tab. 1.2	Mechanické vlastnosti Inconelu 625 [5]	13
Tab. 1.3	Technologický postup výroby L – kusu příruby	15
Tab. 1.4	Technické parametry frézky MCFV 2080 [6]	16

Tab. 1.5	Technické parametry stroje HCN 8800 [7]	17
Tab. 1.6	Vlastnosti obráběcí kapaliny SHELL ADRANA D208 [8]	17
Tab. 1.7	Chemické složení materiálu 42CrMo4 [9]	18
Tab. 1.8	Mechanické vlastnosti materiálu 42CrMo4 [9]	19
Tab. 1.9	Řezné podmínky	21
Tab. 1.10	Řezné podmínky	22
Tab. 1.11	Řezné podmínky	22
Tab. 3.1	Rozměry drážky	30
Tab. 3.2	Řezné podmínky	31
Tab. 3.3	Řezné podmínky	33
Tab. 3.4	Řezné podmínky	36
Tab. 3.5	Řezné podmínky	37
Tab. 3.6	Řezné podmínky	39
Tab. 3.7	Řezné podmínky	39
Tab. 3.8	Řezné podmínky	40
Tab. 3.9	Řezné podmínky	41
Tab. 3.10	Řezné podmínky	41
Tab. 3.11	Řezné podmínky	43
Tab. 3.12	Řezné podmínky	44
Tab. 3.13	Řezné podmínky	45
Tab. 3.14	Řezné podmínky	45
Tab. 3.15	Technické parametry 3D měřicího stroje Contura G2 RDS [17]	46
Tab. 4.1	Náklady na nástroje	51
Tab. 4.2	Náklady na SpiroGrooving	52
Tab. 4.3	Ceny vyměnitelných břitových destiček	52
Tab. 4.4	Náklady na výrobu drážek	54

Tab. 4.5	Porovnání nákladů na výrobu BX drážky hrubováním	55
Tab. 4.6	Celkové náklady výroby dokončením	55

Seznam grafů

Č. grafu	Popis grafu	Strana
Graf 4.1	Výrobní časy BX drážky	53
Graf 4.2	Náklady na drážky hrubováním	55
Graf 4.3	Celkové náklady na drážky dokončením	56

Seznam příloh

Příloha A	Fréza Flash
Příloha B	Protokol 3D měření Cairl Zeiss
Příloha C	Kalibrační list drsnoměru Mahr MarSurf PS1

Výkresové přílohy:

Příloha D	Výkres č. 2HN – 83359 - A
Příloha E	Výkres č. T30 - 0061
Příloha F	Výkres č. 4HN - 154080
Příloha G	Výkres č. 4HN - 154519
Příloha H	Výkres č. 4HN 154517
Příloha I	Výkres č. 3HN – 107692 - A

Příloha A Fréza Flash

CCS

Walter Prototyp: Nástroje a data obrábění 29.10.2015

Walter CZ spol. s r.o.
 Blanenská 1769
 66434 Kurim
 Tel. 420 - 541 423 352
 Fax 420 - 541 231 954

Walter CZ spol. s r.o.
 Blanenská 1769
 66434 Kurim
 Tel: 420 - 541 423 352
 Fax: 420 - 541 231 954

Uvedený způsob opracování Frézy - FLASH

Průměr nástroje d1:	8 mm	Rohový radius R:	mm
Hloubka řezu ap:	0,5 mm	Šířka řezu ae:	8 mm
Způsob obrábění:	Protiběžne	Krátké provedení	HM
Provedení břitů:	Jemnozubé	Materiál nástroje:	HM
Chladicí kapalina:	Emulze 10%	Přívod kapaliny:	vnější

Vybraná skupina materiálů

5.2 Nikl slitiny <= 900, Pevnost v tahu: 700 N/mm², Materiál: Inconel 625

Doporučení nástroje

Katalog. čís.	Mater.nástr oje	Povlak	Norma	d1	Tol	R	z	l1	l2/b	l3	d2	d3
H3094718 P-Norm X	HM 8	TAX h9	6527 L 1	4	63	20		8				

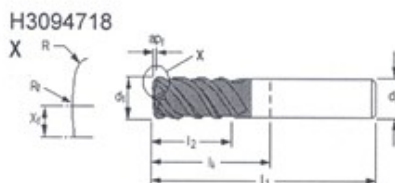
Data obrábění

Katalog. čís	ae	ap	vceff	n	fz	vf	vbf	Chlad. kapal.	P	Q	L	T
H3094718	6,95	0,5	43	1951	0,188	1468		Emulze 10%	0,19	5,1	26	18

Objednací data

Katalog. čís	Typ	Cena []	Info	Ident. číslo
H3094718-8		0,00		

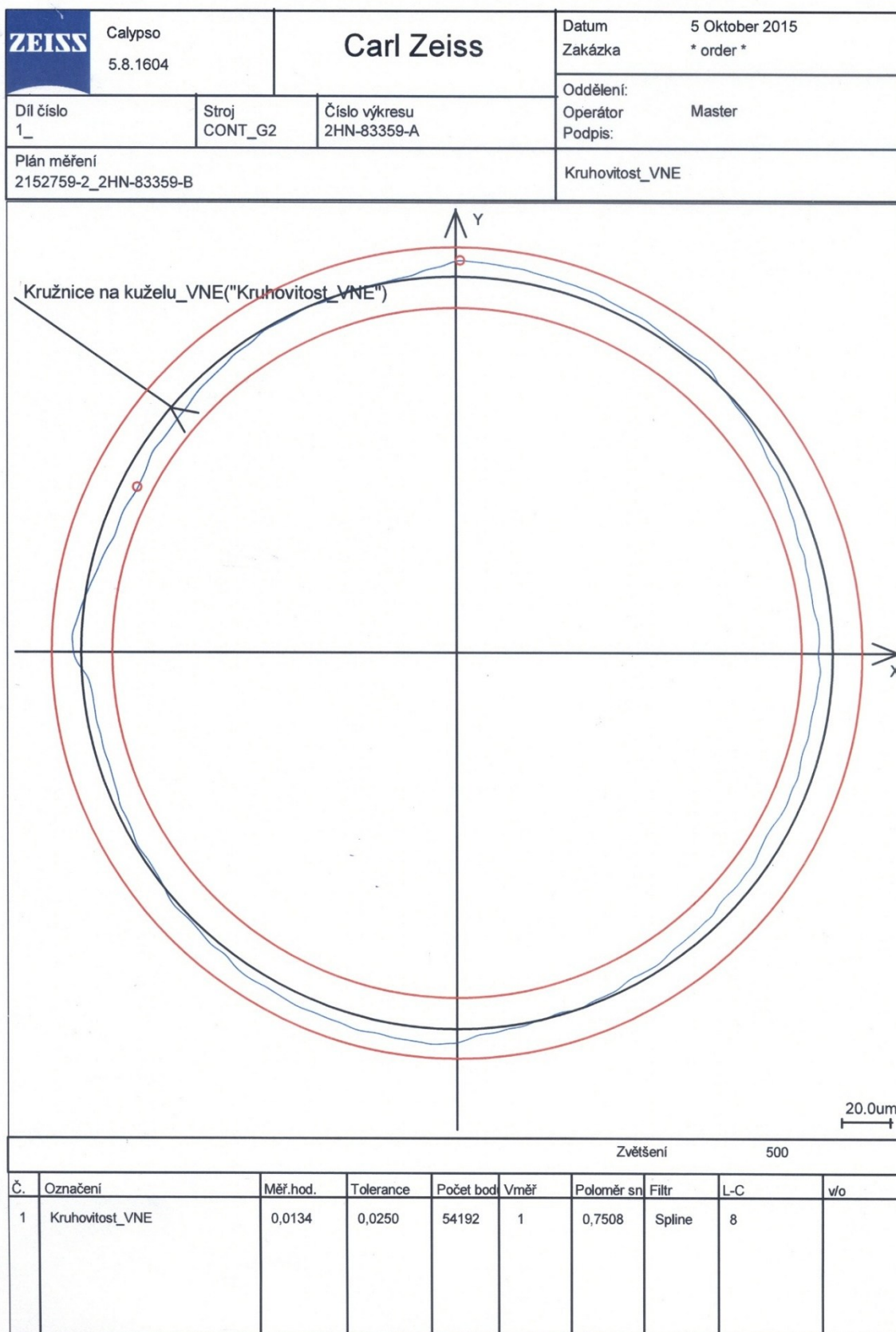
Výkresy

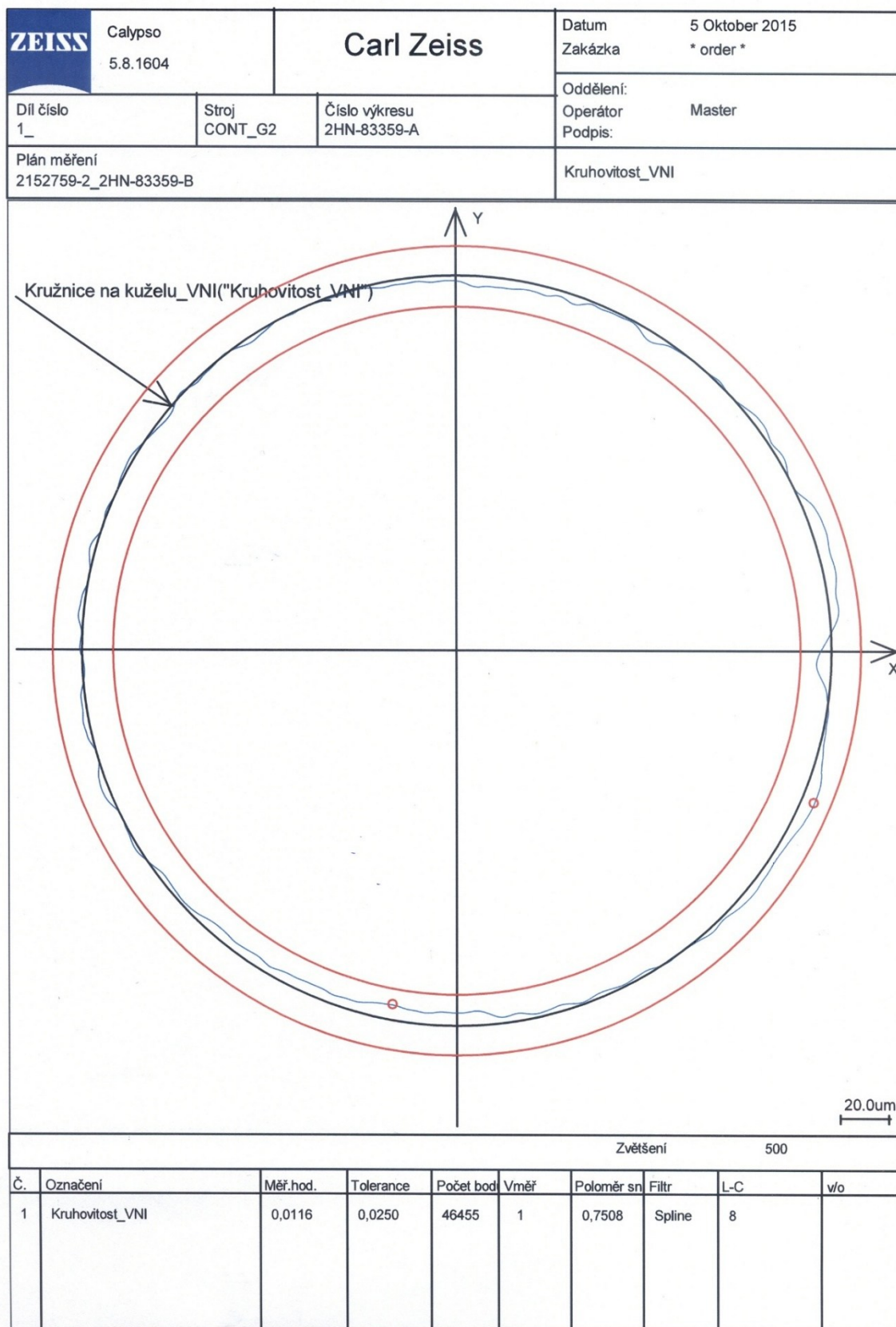


Poznámka

Předpokladem pro vhodné použití doporučených nástrojů jsou dostatečné pot. optimální podmínky na stroj, obrobek, upnutí obrobku a vhodné chlazení. V přímém procesu obrábění mohou být i jiná data, než z tohoto programu, vhodná. Životnosti nástrojů jsou pouze informativní a platí pouze pro nový nástroj až do přebroušení nástroje.

Příloha B Protokol 3D měření Carl Zeiss





NIARA s.r.o. měřicí laboratoř 28.října 165 709 00 Ostrava-Mariánské hory Czech republic

Protokol 3D měření: 2152759-2

Zákazník
V-NASS, a. s.
Halasova 2938 / 1a
703 00 Ostrava-Vitkovice

Datum přijetí dílu
30.9.2015

Datum měření
5.10.2015

Použitá měř. metoda
MP 1 /Standard Calypso

Název nebo číslo dílu
2HN-83359-A

Jednotka měření
[mm]

Teplota vzduchu
(20 ±1)°C

Počet stran
2

Č.dílu inkrementálně
1

Měřil
Zajac Dušan






Nejistota měření
Ocel - U95=(3.1+3.7L)µm L v metrech

Výsledky měření se vztahují pouze k měřeným dílům.
Protokol 3D měření nesmí být bez písemného souhlasu měřicí laboratoře reprodukován jinak než celý.


Standardní nejistota měření byla určena v souladu s dokumentem EA 4/02.
Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a pokrytí asi 95%.
Což pro normální rozdělení odpovídá koeficientu k=2.

Použité měřidlo 3D stroj Contura G2 serial no: 501138 je metrologicky navázáno na státní / mezinárodní etalony.
Carl Zeiss 5170/D-K-15007-01-00/2014-02






Použitý SW Calypso vyznačuje barevně zda jsou nebo nejsou naměřené hodnoty v toleranci přičemž nebere do úvahy uvedenou nejistotu měření.

Měř.hod.	Jm.hod.	Horní tol.	Dolní tol.	Odchylka
 Celkový výsledek Všechny charakteristiky: ...v toleranci: ...Mimo toleranci: ...Nad výstražnou mezí: ...Nevypočteno: Souř.systémů celkem: ...Nevypočteno: Text.elementů celkem:	8 7 1 0 0 1 0 0			
 Kruhovitost_VNE 0.0134	0.0000	0.0250		0.0134
 Kruhovitost_VNI 0.0116	0.0000	0.0250		0.0116
 Poloviční úhel kužele_VNE 22.8000	23.0000	0.2500	-0.2500	-0.2000
 Poloviční úhel kužele_VNI 22,8000	23.0000	0.2500	-0.2500	-0,2000

Zástupce vedoucího měřicí laboratoře:
Ing. Zajac Dušan

 1

NIARA s.r.o.
MĚŘICÍ LABORATOŘ
28. října 165, č.p. 68
709 00 Ostrava-Mar. Hory
Tel.: 597 081 231 Mob.: 725 122 298

NIARA s.r.o. měřicí laboratoř 28.října 165 709 00 Ostrava-Mariánské hory Czech republic Protokol 3D měření: 2152759-2 Měřil: Zajac Dušan Název nebo číslo dílu: 2HN-83359-A					
 Měř.hod. Jm.hod. Horní tol. Dolní tol. Odchylka					
	Hodn-Z_Kružnice na kuželu_VNE -4.8542 -5.0000				0.1458
	Průměr_Kružnice na kuželu_VNE 171.8858 172.4123				-0.5265
	Hodn-Z_Kružnice na kuželu_VNI -5.0518 -5.0000				-0.0518
	Průměr_Kružnice na kuželu_VNI 148.4922 147.0689				1.4233

Příloha C Kalibrační list drsnoměru Mahr MarSurf PS1


Checkliste MarSurf PS1

Reparaturauftrag: 643452683 **RM. – Nr.:** 2024803 **Kunde:** Mahr
Gerätetyp: PS1 **Werk. – Nr.:** 7375 **Ident. – Nr.:** 6910200
Taster: PHT6-350 **Werk. – Nr.:** 24592 **Ident. – Nr.:** 6111520

☒ **ohne Fehlerbeschreibung!** ☐ **kein Fehler festgestellt!**

Nr.	Frage	i.O.	Bemerkungen
1.	Softwaretest / Version	<input checked="" type="checkbox"/>	V1.02-03
2.	Funktionstest LCD-Anzeige	<input checked="" type="checkbox"/>	
3.	Funktionstest Tastatur	<input checked="" type="checkbox"/>	
4.	Vorschubgerät verschiebbar, klappert nicht	<input checked="" type="checkbox"/>	
5.	Schnittstellentest USB an PC; RS232	<input checked="" type="checkbox"/>	
6.	Tastgeschwindigkeit	Soll: 0,475 mm/s bis 0,525 mm/s	<input checked="" type="checkbox"/>
7.	Taststrecken prüfen	1,75 mm 1,65 mm bis 1,98 mm	<input checked="" type="checkbox"/>
		5,6 mm 5,32 mm bis 6,03 mm	<input checked="" type="checkbox"/>
		17,5 mm 16,62 mm bis 18,53 mm	<input checked="" type="checkbox"/>
8.	Rücklauf	<input checked="" type="checkbox"/>	
9.	Kalibrierung mit dem integrierten Normal	<input checked="" type="checkbox"/>	Rz: 9,48
10.	Messung auf PGN 3	Toleranz: $\pm 0,4 \mu\text{m}$	<input checked="" type="checkbox"/>
11.	Messung auf Planglas	Lt = 1,75 mm Rz < 0,1 μm	<input checked="" type="checkbox"/>

Festgestellter Fehler:
 Taster, Kalibriernormal und Schaltmatte defekt

Anmerkungen:

Bei evtl. Reklamationen senden Sie bitte diese Checkliste mit Fehlerbeschreibung und bemängelter Ware an uns zurück. Als Ansprechpartner steht Ihnen der auf dem Lieferschein genannte Sachbearbeiter zur Verfügung.

Datum: 12.1.2016

Prüfer:
K88
Abteilung: 383



Kalibrierschein KIL 130330

Calibration Certificate / Certificat de Contrôle

Gegenstand <i>Object / Objet</i>	Geometriennormal <i>Geometric standard Étalon géométrique</i>
Hersteller <i>Manufacturer / Fabricant</i>	Mahr GmbH, Göttingen
Typ <i>Type / Type</i>	MarSurf PS1
Serien-Nr. <i>Serial No. / N° de série</i>	7375
Ident-Nr. <i>Ident No. / N° d'identification</i>	6910200
Datum der Kalibrierung <i>Date of calibration / Date de calibration</i>	13.11.2015

Die Kalibrierung erfolgt durch Vergleich mit Normalen bzw. Normalmesseinrichtungen oder auf Grundlage dokumentierter Kalibrierverfahren. Die Normale oder Normalmesseinrichtungen sind rückführbar auf nationale Normale der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) oder auf andere nationale Normale.

The calibration is performed by comparison with reference standards, with standard measuring equipment or on the basis of documented calibration procedures. The reference standards and standard measuring equipment are traceable to the measurement standards maintained by the Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) or to other national standards.

Le contrôle se produit par comparaison avec des étalons ou équipements de mesure standards ou sur la base d'un processus de contrôle documenté. Les étalons et équipements de mesure standards se rapportent au Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) ou à d'autres étalons nationaux.

1. Messaufgabe

Measuring task / Tâche de mesure

Ermittlung der Rauheitskenngrößen gemäß ISO 4288 : 1998 unter Verwendung eines phasenkorrekten Profilfilters gemäß ISO 11562 : 1998 an einem Raunormal.

Determining the surface roughness parameters as per ISO 4288 : 1998 by using a phase-correct profile filter according to ISO 11562 : 1998.

Détermination des paramètres des états de surface selon ISO 4288 : 1998 en utilisant un filtre de profil à phases correctes selon ISO 11562 : 1998.

2. Messverfahren

Method of measurement / Méthode de mesure

Die Messungen wurden mit einem Freitastsystem durchgeführt. Der Tastspitzenradius betrug 2 µm, die statische Messkraft 0,7 mN. Die Bestimmung der Messwerte erfolgte mit einer Grenzwellenlänge $\lambda_c = 0,8$ mm und einer Gesamtmessstrecke $l_m = 4,0$ mm. Es wurden drei Messungen über die Messfläche verteilt.

The measurements have been performed with a stylus tracing system featuring a stylus tip radius of 2 µm and a static measuring force of 0,7 mN. The measuring values were determined with a cut-off wavelength of $\lambda_c = 0,8$ mm and an evaluation length of $l_m = 4,0$ mm. Three measurements have been distributed over the measuring surface.

Les mesures ont été effectuées avec un palpeur libre. Le rayon de la pointe de palpée était de 2 µm, la force de mesure statique de 0,7 mN. Les valeurs de mesure ont été déterminées avec une longueur d'onde limite de $\lambda_c = 0,8$ mm et une longueur d'évaluation de $l_m = 4,0$ mm. Trois mesures ont été réparties sur la surface de mesure.

3. Messergebnisse

Measuring results / Résultats de mesure

Gemittelte Rautiefe <i>Mean peak-to-valley height Rugosité moyenne</i>	R_z	9,48 µm	U 10 %
---	-------	---------	-------------

4. Messunsicherheit

Uncertainty of measurement / Incertitude de mesure

Die Messunsicherheit U wurde gemäß DIN 1319 Teil 3 durch quadratische Addition aus einer abgeschätzten Komponente für unbekannte systematische Abweichungen und aus der Zufallskomponente bestimmt. Die Standardmessunsicherheit wurde mit einem Erweiterungsfaktor $k = 2$ multipliziert.

The uncertainty of measurement U has been determined as per DIN 1319 part 3 by root mean square addition of an estimated component for unknown systematic deviations and the stochastic component. The standard uncertainty of measurement has been multiplied by a coverage factor $k = 2$.

L'incertitude de mesure U a été déterminée selon DIN 1319 partie 3 par l'addition quadratique d'une composante estimée pour les erreurs systématiques inconnues et de la composante aléatoire. L'incertitude de mesure standard a été multipliée par un facteur d'extension $k = 2$.



Mahr GmbH Göttingen
Carl-Mahr-Straße 1
D-37073 Göttingen

Stempel
Stamp / Cachet

Prüfbeauftragter
Inspector / Contrôleur

Mahr GmbH, Postfach 1853, D-37008 Göttingen, Telefon (0551) 7073-0, Telefax (0551) 71021
370710 KS DE ENER 2008.04.04

2 / 2



Poděkování:

Chtěl bych poděkovat panu Ing. Oldřichu Knotkovi za spolupráci ve firmě V – Nass, a.s. za poskytnutí pracovních materiálů a podstatných informací o daném problému. Dále bych velice rád poděkoval panu Ing. Jiřímu Kratochvílovi, Ph.D. za jeho velmi cenné rady při zkompletování diplomové práce.

Petr Stibor